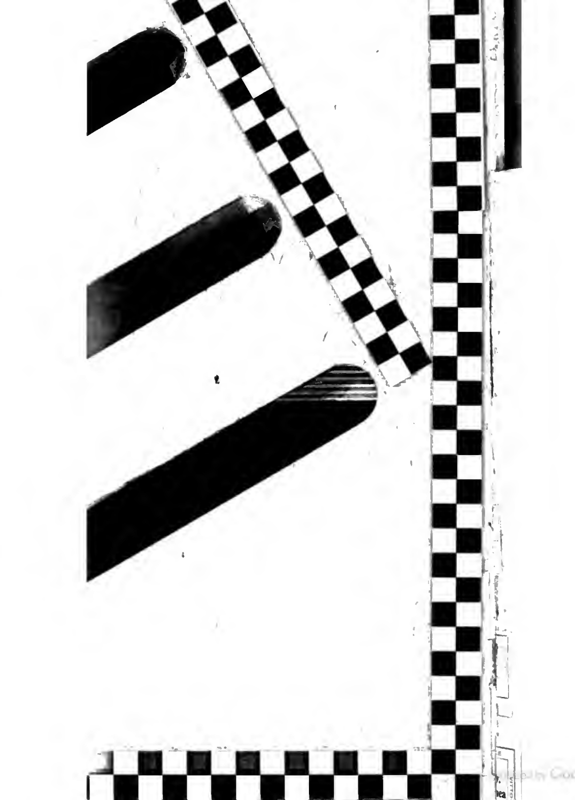





VITTORIO EM. III

RECHERCHES

SUR

LA CONSTRUCTION LA PLUS AVANTAGEUSE

DES DIGUES.



RECHERCHES

SUR

LA CONSTRUCTION LA PLUS AVANTAGEUSE

DES DIGUES.

Ouvrage qui remporta le Prix quadruple proposé par l'Académie des Sciences, Inscriptions et Belles-Lettres de Toulouse, pour l'année 1762.

PAR les Citoyens BOSSUT *et* VIALLET.

NOUVELLE ÉDITION.



A PARIS,

Chez {BARROIS, l'aîné, libraire, rue de Savoie, n°. 23;
FIRMIN DIDOT, libraire, rue de Thionville, n°. 116.

8.







AVERTISSEMENT

Du Citoyen BOSSUT, *Membre de l'Institut National des Sciences et des Arts.*

IL y a environ quarante ans que l'Académie des Sciences, Inscriptions et Belles-Lettres de Toulouse, fortement occupée du projet de procurer à l'Architecture hydraulique, un ouvrage utile et nécessaire concernant la construction la plus avantageuse des Digues, proposa plusieurs fois de suite cette question pour le sujet de l'un de ses Prix. En 1759, jeune alors, et plus ardent à m'exercer sur une matière intéressante en elle-même, qu'excité par l'espoir de remporter le Prix, je me hâtai d'écrire et d'adresser à cette savante compagnie, un Mémoire qu'elle accueillit avec beaucoup d'indulgence, et dont elle fit une mention honorable dans ses programmes et dans les journaux. Néanmoins comme j'avois principalement envisagé le problême du côté de la théorie, l'Académie de Toulouse proposa encore le même sujet pour l'année 1762, en y attachant un prix quadruple, et en invitant les savans et les constructeurs à mener de front la théorie et la pratique dans les pièces destinées au Concours.

J'étois dans ce temps-là étroitement lié d'amitié avec VIALLET, sous-inspecteur des ponts et chaussées de la ci-devant province de Champagne, lequel venoit faire des séjours fréquens et assez longs à Mézières, où j'occupois la place de professeur de Mathématiques à l'école du corps militaire du génie. Nous nous réunîmes pour composer en commun l'ouvrage qu'on va lire; nous l'envoyâmes au Concours; il y obtint un succès complet.

Bientôt après nous reçûmes diverses invitations de faire imprimer cette pièce, sans attendre qu'elle pût paroître à son tour dans les recueils de l'Académie de Toulouse. Nous déférâmes à ces invitations qu'on nous présentoit comme un vœu général, dicté par le desir de l'utilité publique. On fit en conséquence une édition de cet ouvrage, à Paris, en l'année 1764; mais n'ayant pu nous-mêmes en revoir les épreuves, il s'y glissa un grand nombre de fautes d'impression, dont quelques-unes altèrent le sens. Il a été depuis réimprimé, en France et dans les pays étrangers, avec la même inexactitude.

En nous voyant ainsi défigurés, nous prîmes la ferme résolution de publier une édition plus correcte du même ouvrage, et d'y joindre un supplément où nous aurions donné de nouveaux développemens et de nou-

velles applications de nos principes. Mais VIALLET ayant tout-à-fait quitté le pays que j'habitois, et éloignés l'un de l'autre par des travaux relatifs à nos fonctions et étrangers aux Digues ; nous remettions sans cesse à des temps opportuns, l'exécution de ce projet qui demeura enfin suspendu par la mort de VIALLET, arrivée en 1772, à Caën, où il étoit alors ingénieur en chef des ponts et chaussées.

On s'attend peut-être à trouver ici un éloge un peu détaillé de cet excellent homme; mais le temps et l'espace qu'il me faudroit pour contenter mon cœur, me manquent en ce moment. Je me bornerai donc à dire que VIALLET, doué d'un esprit pénétrant, d'un jugement droit, et possédant toutes les connoissances de son métier, s'élevoit à une haute réputation, et qu'il seroit parvenu rapidement aux premières places de son corps, s'il n'eût été moissonné, pour ainsi dire, à la fleur de son âge, qui n'étoit que de quarante-cinq ans.

La perte de ce digne ami m'avoit fait oublier les Digues; mais on m'a tant répété, sur-tout depuis quelque temps, que l'ouvrage dont il s'agit étoit demandé de plusieurs endroits, et que malgré les choses qui y manquent, il pourra être utile pour l'instruction des jeunes ingénieurs, qu'enfin je me suis déterminé à le

faire réimprimer. Un juste égard pour la mémoire de mon collègue m'a empêché d'y faire aucun changement, si ce n'est de revoir et de corriger les calculs avec attention. D'ailleurs, en reproduisant ces sortes de pièces dans le même état où elles ont paru pour la première fois, on rappelle les dates des choses nouvelles qu'elles contenoient alors, sans rien ôter au mérite des découvertes que d'autres auteurs peuvent avoir faites depuis dans le même genre.

RECHERCHES

RECHERCHES

SUR LA

CONSTRUCTION LA PLUS AVANTAGEUSE

DES DIGUES.

I. L'ACADÉMIE royale des Sciences, Inſcriptions et Belles-Lettres de Toulouſe, propoſe pour ſujet du prix quadruple qu'elle doit adjuger en 1762, le problême ſuivant :

Déterminer la direction & la forme la plus avantageuſe d'une Digue, pour qu'elle réſiſte avec tout l'avantage poſſible aux efforts des eaux, en ayant égard aux diverſes manières dont elles tendent à la détruire.

Ce ſujet propoſé ainſi généralement comprend une des branches les plus étendues & les plus importantes de l'architecture hydraulique. Nous nous ſommes efforcés de le traiter avec tout le ſoin qu'il mérite. Non contens de donner la ſolution théorique de chaque problême, & d'en faire l'application à la pratique, nous ſommes encore entré dans les détails mêmes de la conſtruction. On ſent bien que ce qui concerne ce dernier objet, ne peut pas être auſſi neuf que le reſte : cependant nous croyons pouvoir aſſurer qu'on y trouvera pluſieurs choſes qu'on chercheroit vainement ailleurs.

II. On appelle généralement *digue*, tout obſtacle oppoſé à l'effort que fait un fluide pour ſe répandre. En ce ſens, il y a des

digues *naturelles* & des digues *artificielles*. On comprend assez qu'il ne s'agit ici que de ces dernières; & alors une digue est un solide formé de terre ou de pierre, de charpente ou de fascinage, souvent de plusieurs de ces matières, ou même de toutes ensemble, destiné à arrêter, quelquefois aussi à détourner & à rejeter d'un autre côté les eaux d'un ruisseau, d'un fleuve, ou de la mer.

Les digues prennent, relativement à leur objet & suivant les matériaux dont elles sont composées, les noms de *chaussées*, *quais*, *turcies*, *levées*, *battes*, *glacis*, *reversoirs*, *jetées*, *moles*, *épis*, *bâtardeaux*, &c; sur quoi il est bon de remarquer que plusieurs de ces dénominations sont synonymes, le même ouvrage changeant souvent de nom d'une province à l'autre. On traitera séparément de chacune des digues qui diffèrent essentiellement par leur but & par leur construction, & on s'attachera à généraliser les méthodes, de manière qu'elles soient applicables aux espèces de digues qui n'ont pas paru mériter qu'on en fît des articles particuliers.

CHAPITRE PREMIER.

Des Chaussées d'Etang.

III. Les digues les plus simples & les plus ordinaires sont les chaussées destinées à arrêter & à faire gonfler les eaux d'un ruisseau, afin d'en former un étang.

Comme les principes pour la construction de ces sortes de digues peuvent s'appliquer à presque toutes les autres, nous les allons expliquer dans le plus grand détail.

IV. Les causes qui tendent à détruire une chaussée sont, 1°. le frottement des eaux contre son parement; 2°. leur filtration; 3°. leur pression. Elle résiste aux deux premières par le choix & l'arrangement des matériaux dont elle est composée, & à la troisième par sa pesanteur, sa forme & ses dimensions. Commençons par ce qui a rapport à la construction.

V. Lorſqu'on eſt à portée d'avoir de la pierre & de la chaux, & qu'un étang eſt deſtiné d'ailleurs à faire aller une uſine de quelque conſéquence adoſſée contre ſa chauſſée, on ne doit pas héſiter à conſtruire cette chauſſée en maçonnerie. Comme les murs de quai et les reverſoirs ſont les plus importans des ouvrages qui ſe conſtruiſent en maçonnerie pour contenir & diriger les eaux, & que ce que nous dirons de leur conſtruction peut facilement s'appliquer aux chauſſées d'étang en maçonnerie, relativement au plus ou moins de ſolidité dont elles ont beſoin, il nous a paru inutile d'entrer ici dans aucun détail à cet égard.

VI. Les chauſſées d'étang en maçonnerie étant fort coûteuſes, ſur-tout lorſque la mauvaiſe qualité du terrein exige qu'on fonde ſur pilotis, l'uſage ordinaire eſt de faire ces chauſſées en terre avec un revêtement à pierres ſèches du côté de l'eau. La terre avec laquelle on forme les chauſſées doit être à-peu-près de la nature de celle des prairies. On doit ſur-tout rejeter la terre molle & fangeuse qui prend un trop grand talut. Le ſablon fin eſt, par une raiſon contraire, ſujet au même inconvénient. Plus les terres ſe rapprochent d'un juſte milieu entre ces deux extrémités vicieuſes, plus elles ſont propres à former une chauſſée, & en général toute eſpèce de remblai. Quelle que ſoit leur qualité, il faut les répandre également & les battre à la dame par lit d'un pied d'épaiſſeur au plus. Lorſqu'elles ſont ſèches, il convient de les arroſer modérément, afin de leur faire prendre plus vîte leur taſſement.

Quand la terre que le pays fournit n'a pas une ténacité ſuffiſante pour empêcher la filtration des eaux, on met dans toute la longueur de la chauſſée, immédiatement derrière le revêtement en pierres ſèches, un corroi de glaiſe marqué ABCD au profil (*Fig.* 1.), & qu'il faut faire entrer de 2 ou 3 pieds en contre-bas du terrein naturel EF. On met un pareil corroi autour de la buſe qui ſert de décharge de fond à l'étang. La glaiſe doit être nette et bien corroyée, et ne doit ſur-tout pas être trop détrempée. Il eſt avantageux dans tous les cas de ne mettre l'eau dans l'étang que quelque temps après la perfection de la chauſſée; mais cette précaution devient indiſpenſable, lorſqu'on ſoupçonne que le corroi a été trop délayé.

On ne doit pas aſſeoir le remblai ſur le gazon EF, mais il faut

labourer ou bêcher le terrein, afin que la nouvelle terre faſſe liaiſon avec l'ancienne. C'eſt auſſi pour cela qu'un aqueduc en maçonnerie, ſous une chauſſée, eſt ſujet à moins d'inconvéniens qu'une buſe de charpente, parce que la terre ſe lie mieux avec les inégalités de la maçonnerie qu'avec le bois. Mais lorſqu'on ſe trouve obligé de faire une buſe de charpente, ou en général de faire traverſer un corroi de glaiſe par une pièce de bois, il eſt à propos de hacher & de râper le bois à ſa ſuperficie. Cette précaution, trop négligée juſqu'à préſent, pourra paroître minutieuſe; mais nous en garantiſſons l'importance & le ſuccès d'après notre propre expérience.

VII. Le revêtement en pierres sèches, qui ſe conſtruit du côté de l'étang, a pour objet de ſoutenir les terres auxquelles on ne donne pas ordinairement tout le talut qu'elles prendroient d'elles-mêmes, & il ſert d'ailleurs à les garantir du frottement occaſionné par l'agitation des eaux : il conviendroit, pour plus de ſolidité, que ſon parement intérieur fût à-plomb ſuivant la ligne BC; mais pour épargner la pierre, lorſqu'elle eſt rare, on fonde ce revêtement par redans, comme BOPR (*Fig.* 1). On ſe contente même quelquefois d'un ſimple parement (*Fig.* 2). Mais il faut toujours aſſeoir le pied de ces revêtemens ſur un terrein ſolide, ou ſur un grillage de charpente, ſi le ſolide ſe trouve trop bas. On doit auſſi tenir les joints de lit des pierres du parement NF, perpendiculaires ſur cette ligne. Il eſt bien vrai que par ce moyen, l'eau s'introduit plus facilement dans la chauſſée; mais cet inconvénient eſt plus que compenſé par la ſolidité que ce genre de conſtruction donne au parement. Il faut cependant que l'aſſiſe de libages qui le porte ait ſon lit inférieur de niveau, le lit ſupérieur étant toujours perpendiculaire au talut. Le tout eſt marqué dans les *Figures* 1 & 2.

Dans le cas où l'on auroit facilement des moilons d'un bel échantillon, ſuſceptibles par conſéquent d'être eſmillés à joints quarrés, & d'être conduits par aſſiſes égales, on peut les poſer de niveau ſur leur lit avec retraite à chaque aſſiſe, ainſi qu'il eſt marqué dans la *Figure* 3. On voit par cette même *Figure* qu'il faut auſſi garnir en moilon poſé à ſec le derrière de ce parement, de façon que l'épaiſſeur entière du revêtement ſoit au moins de deux pieds & demi. Cette eſpèce de conſtruction exige moins de talut que les perés blocaillés; ce qui a quelquefois

fon avantage, comme lorfque la chauffée deftinée en même temps à fervir de chemin, a plus de largeur par le haut qu'il ne lui faut d'épaiffeur pour foutenir la pouffée de l'eau; mais on ne trouve pas par-tout des matériaux qui y foient propres.

On fortifie fouvent le parement expofé à l'eau & même tous les deux, par une rangée de pieux derrière lefquels on met de gros libages, des madriers ou des fafcines. Quelquefois on fe contente de revêtir le parement d'un fimple fafcinage. Nous aurons occafion de parler dans la fuite de ces différentes conftructions; il fuffit pour le préfent de remarquer que le parement d'une chauffée d'étang n'étant pas expofé au choc des eaux courantes, il exige communément moins de folidité que les ouvrages de même genre qui fe font fur les rivières.

VIII. Il eft indifpenfable pour l'écoulement du furplus des eaux de l'étang, lorfqu'il eft une fois rempli, de pratiquer à un ou même à chacun des deux bouts de la chauffée, une décharge de fuperficie appelée communément *glacis*. Comme nous traiterons en détail des reverfoirs qui fe font fur les grandes rivières, il fera aifé d'en déduire des principes de conftruction pour les glacis d'étang, dont la folidité doit plus ou moins approcher des reverfoirs des rivières, fuivant la quantité & la rapidité de l'eau qui doit y paffer.

Il eft toujours fort utile de paver le deffus de la chauffée & de la bomber vers fon milieu, afin de faciliter l'écoulement des eaux pluviales qui détruifent beaucoup de chauffées, lorfqu'on néglige cette précaution.

IX. Tels font les principaux moyens qu'il faut mettre en œuvre pour lier parfaitement enfemble toutes les parties de la chauffée, de manière qu'elles ne faffent plus, pour ainfi dire, qu'un corps continu. Examinons maintenant l'épaiffeur & la forme qu'elle doit avoir pour réfifter à la preffion des eaux. Le calcul doit être établi fur l'une ou l'autre des deux hypothèfes fuivantes :

1°. On peut confidérer la digue comme un corps abfolument continu que la preffion des eaux tend à renverfer, en le faifant tourner fur l'angle poftérieur de fa bafe regardé comme fixe.

Cette manière de confidérer l'effort des eaux contre une digue, eft principalement applicable à celles qui se conftrui-

ſent en maçonnerie, ſur-tout lorſque la maçonnerie a une fois pris corps.

2°. La digue peut être regardée comme un ſolide inébranlable dans ſes fondemens, mais qui ne réſiſte pas également ſur toute ſa hauteur, & qui tend à ſe diviſer par tranches horizontales; en ſorte qu'il s'agit de déterminer la figure & les dimenſions que doit avoir cette même digue relativement aux différentes charges d'eau qu'elle ſoutient à différentes profondeurs.

Cette ſeconde hypothèſe convient ſur-tout aux digues qui ſeroient conſtruites entièrement en terre.

On pourroit encore regarder les digues comme ne pouvant être ni rompues, ni renverſées, mais comme devant gliſſer d'une ſeule pièce, de ſorte qu'elles ne demeureroient ſtables qu'en vertu de la réſiſtance occaſionnée par le frottement de leur baſe contre le ſol ſur lequel elles ſeroient poſées; mais au moyen des précautions que nous avons indiquées (art. VI), & de l'attention qu'on doit avoir de fonder ſolidement les digues & de les encaiſſer dans le terrein ſur lequel on les établit, il eſt entièrement inutile de les conſidérer ſous ce point de vue. Cependant ſi quelque lecteur vouloit faire ce calcul, il en viendroit facilement à bout, en obſervant qu'on auroit alors ces deux conditions à remplir. En premier lieu, la force horizontale qui tend à faire reculer la digue, devroit être égale à la réſiſtance du frottement qui eſt toujours, comme on ſait, une certaine partie de la preſſion totale que ſouffre le fond ſur lequel la digue tendroit à gliſſer. Secondement, le moment de la force horizontale, par rapport à l'angle poſtérieur de la baſe ſur lequel ſe fait la rotation au premier inſtant, ſeroit égal au moment de toutes les forces verticales, par rapport au même angle. Il ſuffit d'indiquer cette méthode.

§. I. *Dimenſions de la Digue dans la première hypothèſe.*

X. *Suppoſons que FHNSE* (Fig. 4) *ſoit le profil de la digue regardée comme un ſolide dont toutes les parties ſont liées & continues, et que HK ſoit le niveau des eaux qui tendent à la renverſer en la faiſant tourner ſur le point E conſidéré comme fixe. Que les paremens NF, SE soient des lignes quelconques droites ou courbes, mais données. Il s'agit de trouver l'épaiſſeur FE que la digue doit avoir à ſon pied, afin de n'être pas renverſée.*

Il eſt évident que dans les cas où les terres au-devant de la fondation du parement d'amont ne joindroient pas parfaitement ce parement, l'eau s'inſinueroit dans ce vide & preſſeroit la digue en cet endroit, ſuivant toute la hauteur de ſon niveau au-deſſus du fond de l'affouillement. Ainſi, pour plus de ſûreté, il faut compter la profondeur des eaux depuis la naiſſance de la fondation, juſqu'au niveau des plus hautes eaux.

Qu'on mène à l'axe horizontal HK les ordonnées infiniment voiſines PM, pm; & qu'on abaiſſe des points H & M, les verticales HT, MX. Soit tirée l'horizontale ML, & ſoit élevée la verticale EL.

Suppoſons	HP	$= x$
	PM	$= y$
	Pp ou MV	$= dx$
	Vm	$= dy$
	Mm	$= ds$
	HT	$= a$
	FT	$= f$
	FE	$= z$
	Le moment de l'aire FHNSE, par rapport au point E	$= Z$
	La peſanteur ſpécifique de l'eau	$= p$
	La peſanteur ſpécifique de la digue	$= \text{II}$.

On ſait que chaque élément Mm ſouffre une preſſion perpendiculaire, laquelle eſt proportionnelle à la hauteur PM. Soit repréſentée cette force par la droite RM, perpendiculaire à



M m, & ſoit décompoſée cette même force en deux autres RQ, RY, l'une horizontale, l'autre verticale.

L'expreſſion de la première $RQ = pyds \times \frac{RQ}{RM}$: or les deux triangles RQM, mVM, ayant les côtés perpendiculaires chacun à chacun, & étant par conſéquent ſemblables, on a $\frac{RQ}{RM} = \frac{Vm}{Mm} = \frac{dy}{ds}$; ainſi cette force RQ eſt $pyds \times \frac{dy}{ds}$ ou $pydy$: d'où l'on voit qu'elle ſera toujours la même que la force contre Vm, quelle que puiſſe être la courbe HF. Le moment de cette même force, par rapport au point E, eſt $pydy \times LE = pydy \times (a - y) = paydy - pyydy$, dont l'intégrale eſt $\frac{payy}{2} - \frac{py^3}{3}$. Suppoſant $y = a$, il nous viendra $\frac{pa^3}{6}$ pour le moment total de la pouſſée horizontale de l'eau, par rapport au point E, & par conſéquent ce moment ſera toujours le même que le moment de la pouſſée horizontale de l'eau contre la verticale FK.

L'autre force RY ou QM eſt $pyds \times \frac{MQ}{RM}$ ou $pyds \times \frac{dx}{ds}$ ou $pydx$. Cette force conſpire, avec le poids de la digue, à affermir cette même digue ſur ſes fondemens; & ſon moment par rapport au point E, eſt $pydx \times XE = pydx \times (z - f + x)$. Donc le moment de la pouſſée verticale entière de l'eau, par rapport au point E, ſera $\int (z - f + x)\, pydx$. Lorſque cette intégration ſera effectuée, après avoir exprimé x en y à l'aide de l'équation de la courbe connue FH, il faudra ſuppoſer $y = a$, afin d'avoir le moment de la pouſſée verticale de l'eau, correſpondant à toute la hauteur HT.

Maintenant, il eſt clair que le moment de la pouſſée horizontale de l'eau qui tend à renverſer la digue, doit être contrebalancé par la ſomme des momens de la pouſſée verticale de l'eau & du poids même de la digue, ou par le *moment unique* qui en réſulte. Ce moment unique conſtitue la *ſtabilité* de la digue ſur ſon pied FE. Comme il convient toujours de donner plus de ſtabilité à la digue, qu'il ne faut pour le ſimple équilibre, on n'aura qu'à multiplier par un nombre m de fois le moment de la pouſſée horizontale de l'eau, puis à égaler le produit à la ſomme des momens de la pouſſée verticale & du poids de la digue; ce qui donnera l'équation :

$$(A)\ \frac{mpa^3}{6} = \int (z - f + x)\, pydx + \Pi Z,$$

laquelle comprend tous les cas de ſtabilité; car ſi on veut, par exemple,

exemple, que la ſtabilité de la digue ſoit ſimplement ſuffiſante pour faire équilibre à la pouſſée horizontale de l'eau, on aura $m = 1$; ſi l'on veut que la ſtabilité de la digue ſoit double de la ſtabilité d'équilibre, on aura $m = 2$, &c. Nous n'avons pas beſoin de dire que Z eſt une fonction donnée de l'inconnue z.

XI. L'équation générale (A) eſt ſuſceptible d'une infinité d'applications, ſuivant la nature des courbes qui forment les deux paremens. Elle préſente naturellement cette réflexion générale. Puiſque le moment de la pouſſée horizontale de l'eau eſt toujours le même, quelle que puiſſe être la courbure du parement d'amont HF, & que le moment de la pouſſée verticale augmente à meſure que HF s'incline ſur la baſe FE, il eſt clair que, toutes choſes d'ailleurs égales, il eſt avantageux de donner le plus de talut qu'il eſt poſſible au parement d'amont. De cette remarque naît l'idée d'un problême curieux, lequel conſiſteroit à trouver pour HF une courbe telle que l'aire FHNSE étant un *minimum*, la ſomme des momens de cette même aire & de la pouſſée verticale de l'eau fût un *maximum*. Ce problême eſt du même genre que ceux des iſopérimètres qui ont occupé ſi long-temps MM. *Bernoulli*, & pluſieurs autres Géomètres. Il ſe réſout très-aiſément par une méthode qu'on expoſera ci-deſſous dans l'article XXXVIII. Nous ne le donnons pas ici, parce que la pratique n'en ſauroit tirer aucun ſecours : nous nous bornons à la conſidération des taluts rectilignes.

XII. Soient (*Fig. 5*) NF, SE deux lignes droites inclinées à l'horizon ſous des angles donnés NFZ, SEQ, & ſuppoſons que NS ſoit une ligne droite horizontale. En conſervant ici la conſtruction & les dénominations de l'article X, ſoient de plus abaiſſées les verticales NZ, SQ, & faiſons $SQ = NZ = b$, $EQ = g$, $FZ = r$; on aura $x = \frac{fy}{a}$, à cauſe des triangles ſemblables HPM, FTH ; donc

$$\int (z - f + x)\, py\, dx = \int \frac{f}{a}\left(z - f + \frac{fy}{a}\right) py\, dy = \frac{pfzyy}{2a} - \frac{pffyy}{2a} + \frac{pffy^3}{3a^2},$$ expreſſion qui devient $\frac{pfza}{2} - \frac{pffa}{6}$ en faiſant $y = a$.

De plus $Z = (z - r - g) \times b \times \left(g + \frac{z - r - g}{2}\right) + \frac{br}{2} \times \left(z - \frac{2}{3} r\right) + \frac{bg}{2} \times \frac{2g}{3} = \frac{bzz}{2} - \frac{brz}{2} + \frac{brr}{6} - \frac{bgg}{6}$.



Par conſéquent l'équation générale (A) deviendra celle-ci, qui eſt du ſecond degré ;

(B) $\frac{mpa^3}{6} = \frac{pfza}{2} - \frac{pffa}{6} + \frac{\Pi bzz}{2} - \frac{\Pi brz}{2} + \frac{\Pi brr}{6} - \frac{\Pi bgg}{6}$.

Cette formule servira en général à déterminer la base z d'une digue dont les deux paremens sont rectilignes & en talut.

Lorsque l'angle SEQ est droit, ou que le parement d'aval est vertical, on a $g=o$; & la formule devient:

(C) $\frac{mpa^3}{6} = \frac{pfza}{2} - \frac{pffa}{6} + \frac{\Pi bzz}{2} - \frac{\Pi brz}{2} + \frac{\Pi brr}{6}$.

Lorsque les deux paremens sont verticaux, on a $f=o$, $r=o$, $g=o$; et la formule devient

(D) $\frac{mpa^3}{6} = \frac{\Pi bzz}{2}$, ou $zz = \frac{mpa^3}{3\Pi b}$.

XIII. Quoique nous ayons déjà fait sentir l'avantage des taluts, il ne sera peut-être pas inutile de mettre ici la chose dans la dernière évidence par un exemple.

Supposons que la plus grande hauteur des eaux soit de 18 pieds, que nous prenons aussi pour la hauteur de la digue, en sorte que le point N tombe sur le point H. Supposons de plus que les deux paremens aient, suivant l'usage ordinaire, chacun un talut qui soit $\frac{1}{6}$ de leur hauteur. Enfin, supposons que les pesanteurs spécifiques de l'eau & de la maçonnerie soient entr'elles comme les nombres 7 & 12, & que la stabilité de la digue doive être double de celle que requiert l'équilibre. Sur toutes ces hypothèses, on aura $a = b = 18$ pieds, $r = f = g = 3$ pieds, $p = 7$, $\Pi = 12$, $m = 2$. Par conséquent l'équation (B) deviendra ici

$$zz - \frac{45}{36}z = \frac{4599}{36} \text{ pieds quarrés.}$$

D'où l'on tirera z un peu moindre que 12 pieds. Supposons $z = 12$ pieds: la surface du profil sera de 162 pieds quarrés.

Maintenant, si les deux paremens étoient verticaux, on trouveroit que la base du profil, correspondante aussi à une stabilité double de celle que demande l'équilibre, seroit d'un peu plus de 11 pieds 2 pouces; ce qui donneroit plus de 201 pieds quarrés pour la surface du profil. D'où l'on voit que les deux surfaces des deux profils sont entr'elles à-peu-près comme les nombres 4 & 5, & que par conséquent dans le premier cas on épargne environ $\frac{1}{5}$ sur les matériaux.

XIV. Les calculs précédens ne laissent aucun doute sur l'avan-

tage qu'il y a à donner beaucoup de talut aux paremens des digues. Reste à savoir jusqu'à quel point la pratique peut s'accorder à cet égard avec la théorie.

L'usage pour les paremens en maçonnerie (car c'est de ceux-là qu'il s'agit ici), est de leur donner pour talut le sixième de leur hauteur. Les murs en aile de ponts sont cependant une preuve qu'on peut faire des taluts beaucoup moins roides, puisque celui de leur dessus est communément d'une fois & demie la hauteur de ces murs. On remédie au trop de maigreur qu'un grand talut donne à l'angle formé par le parement des pierres & leur lit inférieur, en taillant ces pierres comme la *Figure* 6 l'indique, ou ce qui est encore mieux, en les encastrant comme il est exprimé dans la *Figure* 7. Il en résulte à la vérité un très-grand déchet de pierres. C'est pour éviter ce déchet & pour se procurer en même temps le plus de solidité qui provient d'un grand talut, qu'on fait quelquefois des revêtemens en pierres de taille, dont les joints sont à l'équerre sur le talut du parement. Il n'y a d'inconvénient à cette espèce de construction, si avantageuse du côté de l'économie, que dans le cas où la pierre seroit spongieuse & sur-tout feuilletée; car l'eau s'insinue & coule beaucoup plus facilement entre les lames du feuilletis ainsi déversées en arrière, que si elles étoient posées horizontalement.

---

§. II. *Figure & dimensions de la Digue ; dans la seconde hypothèse.*

XV. *Dans cette hypothèse, comme dans la première, la digue est censée arrêtée fixement par son pied, de manière qu'elle ne puisse pas glisser : mais ici elle est composée de tranches horizontales suivant lesquelles elle peut se diviser ; & il s'agit de courber le parement d'amont de manière que les différentes tranches résistent également aux différentes forces qui tendent à les emporter.*

Nous supposons, pour écarter tout ce qui est étranger à la question, que le parement d'aval soit à-plomb, & que la hauteur des eaux s'élève à la hauteur de la digue.

Soient donc (*Fig. 8*) HFT le profil de la digue proposée; HK le niveau des eaux; HF la courbe cherchée qui doit former le

parement d'amont; la verticale HT le parement d'aval; MN*nm* une tranche horizontale infiniment mince & indéterminée, suivant laquelle la digue tend à se rompre en vertu de l'effort des eaux sur HM.

Cela posé, il est clair que lorsque la digue se rompt en effet, suivant MN, la partie supérieure HMN se détache de l'inférieure MNTF, en allant de M vers N, & qu'à l'instant de la rupture il se fait autour du point N un petit mouvement de rotation. Il faut donc trouver les forces qui agissent sur la tranche MN*nm* & les mettre en équilibre autour du point N, regardé comme l'appui d'un levier MN*nm*. Or ces forces sont,

1°. La poussée horizontale de l'eau.

2°. La poussée verticale de l'eau.

3°. Le poids de la partie HMN de la digue.

4°. L'adhérence des deux surfaces MN, *mn*, laquelle naît de l'engrènement de leurs parties. Cette force est analogue à la résistance qu'une poutre, fixée dans un mur & pressée par un poids, oppose à sa rupture; mais il faut bien remarquer qu'entre ces deux sortes de forces il y a cette différence que les fibres d'une poutre sont flexibles & extensibles, ce qui fait qu'elle ne résiste pas également dans toute la section suivant laquelle elle se rompt, au lieu que l'adhérence des deux surfaces MN, *mn* de la digue, étant produite par l'engrènement de parties dures & dénuées de tout ressort, doit être la même dans toute la longueur MN.

Des quatre forces dont nous venons de parler, il est évident que la première est la seule qui tend à renverser la partie HMN sur le point N, & qu'elle est contrebalancée par les trois autres. Cherchons donc les momens de toutes ces forces par rapport au point N. Or

Si l'on suppose
- HP ou NM.......................... $= x$,
- PM.................................. $= y$,
- La pesanteur spécifique de l'eau............ $= p$,
- La pesanteur spécifique de la digue.......... $= \Pi$;

1°. Le moment de la poussée horizontale de l'eau sera $\frac{py^3}{6}$.

2°. Le moment de la poussée verticale sera $\int pxy\,dx$



3°. Le moment de la partie HMN de la digue fera $\int \frac{\Pi xxdy}{2}$.

4°. La force d'adhérence étant la même dans tous les points de la droite MN, comme nous l'avons remarqué, il eſt viſible que ſon moment, par rapport au point N, fera proportionnel à $x \times \frac{x}{2}$: ſuppoſant donc que ſous une longueur donnée h, la force d'adhérence ſoit égale à un poids connu Q, & obſervant que comme il ne s'agit ici que de profils, ce poids Q peut être converti en une tranche quarrée d'eau qui ait pour côté la ligne connue k, le moment de la force propoſée fera $\frac{pkk}{h} \times \frac{xx}{2}$, moment qui, comme l'on voit, eſt homogène à tous les autres.

Par conſéquent on aura par les loix de l'équilibre

$$\frac{py^3}{6} = \int pxydx + \int \frac{\Pi xxdy}{2} + \frac{pkkxx}{2h},$$

équation d'où il faut tirer la relation entre x & y.

XVI. En différentiant les deux membres de cette équation, on aura

$$\frac{pyydy}{2} = pxydx + \frac{\Pi xxdy}{2} + \frac{pkkxdx}{h};$$

ou bien, en ſuppoſant pour abréger $\frac{p}{\Pi} = n$, $\frac{pkk}{h\Pi} = N$,

$$\frac{nyydy}{2} = nxydx + \frac{xxdy}{2} + Nxdx;$$

ou bien encore

$$nyydy = xxdy + (2ny + 2N)\,xdx.$$

Soit $2ny + 2N = z$, & par conſéquent $dy = \frac{dz}{2n}$, $yy = \left(\frac{z-2N}{2n}\right)^2$: on aura la transformée $\frac{xxdz}{2n} + zxdx = \frac{dz}{2}\left(\frac{z-2N}{2n}\right)^2$; ou

$$xxdz + 2nzxdx = \frac{dz}{4n}(z - 2N)^2.$$

L'équation étant ainſi préparée, on voit qu'elle feroit intégrable ſi n étoit $= 1$; mais comme n diffère de l'unité, il s'agit de trouver une fonction de z qui multipliant toute l'équation, en rende le premier membre intégrable, car il eſt clair que le ſecond le fera toujours, ſoit algébriquement, ſoit par les quadratures des courbes. Or on découvre par des méthodes connues, ou même par la ſimple habitude du calcul, que la fonction deman-



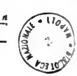
dée est $z^{\frac{1}{n}-1}$; ainsi multipliant tous les termes par $z^{\frac{1}{n}-1}$, on aura

$$xxz^{\frac{1}{n}-1}dz + 2nz^{\frac{1}{n}}xdx = \frac{z^{\frac{1}{n}+1}dz - 4Nz^{\frac{1}{n}}dz + 4N^2z^{\frac{1}{n}-1}dz}{4n},$$

dont l'intégrale est

$$nxxz^{\frac{1}{n}} + A = \frac{z^{\frac{1+2n}{n}}}{4(1+2n)} - \frac{Nz^{\frac{1+n}{n}}}{1+n} + N^2z^{\frac{1}{n}};$$

ou bien en chassant z,



$$nxx(2ny+2N)^{\frac{1}{n}} + A = \frac{(2ny+2N)^{\frac{1+2n}{n}}}{4(1+2n)} - \frac{N(2ny+2N)^{\frac{1+n}{n}}}{n+1}$$

$$+ N^2(2ny+2N)^{\frac{1}{n}}.$$

La constante A ajoutée en intégrant, doit être telle évidemment qu'on ait $y=0$, lorsque $x=0$; car alors le moment de la poussée horizontale de l'eau s'évanouit, & par conséquent les momens des autres forces doivent s'évanouir aussi. Or cette supposition donne $A = \frac{(2N)^{\frac{1+2n}{n}}}{4(1+2n)} - \frac{N(2N)^{\frac{1+n}{n}}}{n+1} + N^2(2N)^{\frac{1}{n}}$. Ainsi l'équation exacte de la courbe cherchée sera

$$nxx(2ny+2N)^{\frac{1}{n}} + \frac{(2N)^{\frac{1+2n}{n}}}{4(1+2n)} - \frac{N(2N)^{\frac{1+n}{n}}}{1+n} + N^2(2N)^{\frac{1}{n}} =$$

$$\frac{(2ny+2N)^{\frac{1+2n}{n}}}{4(1+2n)} - \frac{N(2ny+2N)^{\frac{1+n}{n}}}{1+n} + N^2(2ny+2N)^{\frac{1}{n}}.$$

Cette courbe, quoique d'un genre assez élevé, est très-facile à décrire, puisque les indéterminées x & y se séparent d'elles-mêmes, & que pour avoir x en y, on n'aura à résoudre qu'une simple équation du second degré qui manque même de second terme. Le nombre constant n est le rapport connu des pesanteurs spécifiques de l'eau & de la digue. A l'égard de N, sa valeur doit être déterminée par l'expérience.

XVII. Nous avons cru qu'on verroit avec plaisir la solution générale de ce problême; mais si on néglige la force d'adhérence qui ne fait d'ailleurs que concourir à la solidité de la digue, l'é-

quation se simplifiera extrêmement; car alors N = o, & l'on a par conséquent

$$nxx\,(2ny)^{\frac{1}{n}} = \frac{(2ny)^{\frac{1+2n}{n}}}{4\,(1+2n)};$$

d'où l'on tire $x = y\sqrt{\frac{n}{1+2n}}$.

Cette équation fait voir que le parement d'amont HF (*Fig.* 9) est une ligne droite inclinée sur sa base FT, de manière qu'on a

$$FT : HT :: \sqrt{\frac{n}{1+2n}} : 1.$$

Dans les digues en terre pour lesquelles cette formule convient principalement, comme nous l'avons dit, les pesanteurs spécifiques p & π sont pour l'ordinaire entr'elles à-peu-près comme les nombres 7 & 10, en sorte qu'on a ici $n = \frac{7}{10}$: donc la valeur du radical $\sqrt{\frac{n}{1+2n}}$ est à très-peu près $\frac{13}{24}$; donc FT : HT :: 13 : 24 à-peu-près. D'où l'on voit que, suivant la théorie, le profil d'une digue en terre doit être un triangle rectangle dont la base soit les $\frac{13}{24}$ de sa hauteur. C'est sur quoi nous observons deux choses relativement à la pratique.

1°. Qu'un talut de moitié de la hauteur, qui ne suffiroit pas pour des terres abandonnées à elles-mêmes, conviendra parfaitement lorsque ce talut sera blocaillé d'après ce que nous avons dit (art. VII). Il n'y auroit même aucun inconvénient à l'augmenter davantage, si on le jugeoit à propos. Ainsi la théorie & la pratique peuvent s'accorder parfaitement ensemble.

2°. Il est impossible que le parement de derrière de la digue se soutienne à-plomb, comme nous l'avons supposé dans la solution du problême, & il faut, si on ne le blocaille pas comme celui de devant, lui donner un talut qui varie, suivant le degré de fluidité des terres, entre 1 fois $\frac{1}{2}$ & 2 fois leur hauteur.

Comme il ne suffit pas de proportionner l'épaisseur à la pression & qu'il faut encore se garantir des filtrations, & comme il ne convient pas d'ailleurs de terminer une digue par une crête aiguë qui ne pourroit pas se soutenir long-temps, on ne peut se dispenser de donner à la digue, à son sommet, au moins deux pieds de largeur. Ce plus d'épaisseur & le talut du parement de derrière produiront ensemble l'excédent de résistance que la digue doit avoir sur l'effort qu'elle a à soutenir. On voit

par là combien les chaussées d'étang qu'on a faites jusqu'à présent, & qui ne servent pas en même temps de chemin, ont trop d'épaisseur.

XVIII. On observera, en finissant ce chapitre, que les chaussées étant ordinairement chargées d'une plus grande hauteur d'eau vers le milieu qu'aux extrémités, l'épaisseur, suivant la théorie, devroit aussi être plus grande vers le milieu que vers les extrémités; mais comme il y a bien des circonstances où la commodité & l'agrément demandent que les chaussées ayent une largeur uniforme, il faut pour lors leur donner par-tout la largeur qui a été trouvée pour la partie la plus chargée : l'inconvénient est d'autant moins grand, par rapport à la dépense, que les remblais ont toujours très-peu de hauteur dans les endroits où le calcul n'exigeroit qu'une très-petite épaisseur.

CHAPITRE II.

Des ouvrages qui se construisent le long des rivières pour en garantir les berges & retenir les eaux dans leur lit.

XIX. AVANT que de traiter en détail des différentes espèces de digues exposées aux eaux courantes, nous ferons ici quelques observations générales sur les causes premières qui rendent pour le moins inutiles, la plupart des ouvrages de ce genre qu'on construit tous les jours à grands frais.

Tout est lié dans la nature, & ce qui est regardé comme la cause d'une chose, n'est que l'effet d'une autre cause qui a aussi la sienne. Cette dépendance se fait principalement remarquer dans les effets que les eaux d'une rivière produisent sur les bords & sur le fond de son lit. C'est l'eau toujours réfléchie qui agit, & il n'y a pas d'anse ou d'atterrissement qui n'ait sa première cause dans une anse ou un atterrissement supérieur, & toujours ainsi en remontant jusqu'au premier grain de sable qui se rencontre sur le chemin de l'eau à la sortie de la source. On ne doit pas même négliger l'examen de la partie inférieure du fleuve : il s'y trouve souvent des obstacles qui, sans contribuer aussi directement

directement & aussi puissamment que les causes supérieures, à l'accident auquel on veut remédier, y ont cependant une très-grande part.

Il ne faut pas croire pour cela qu'on ne puisse faire le moindre ouvrage sur le bord d'un fleuve, sans avoir remonté jusqu'à sa source & à celles de toutes les rivières & de tous les ruisseaux qui s'y jettent : la nature, & même les ouvrages d'art, donnent souvent des points de repos auxquels on doit s'arrêter. Il seroit, par exemple, inutile de monter au-delà d'un canal formé par des rochers entre lesquels on est assuré que les eaux coulent uniformément depuis plusieurs siècles. Les murs de quai dont on revêt les bords des rivières qui traversent les grandes villes, & tous les autres ouvrages qui déterminent invariablement la direction des eaux à leur sortie, sont encore des points qui exemptent de pousser plus loin les recherches. On doit seulement s'informer à ceux qui sont chargés de la direction de ces ouvrages supérieurs, s'ils n'y ont pas projeté des changemens qui, quoique légers en apparence, pourroient quelquefois rendre inutile tout ce qu'on construiroit au-dessous.

Ces considérations prouvent suffisamment combien il est de l'intérêt de ceux qui ont à se défendre des eaux, de ne pas s'en rapporter à des *praticiens* bornés qui ne portent pas la vue au-delà de l'endroit sur lequel on les consulte. Mais l'objet est encore d'une bien autre importance pour l'Etat, parce que tous ces ouvrages, qui n'ont aucune liaison, ni aucun rapport les uns avec les autres, deviennent presque toujours autant d'obstacles à une navigation qui porteroit l'abondance dans tout le royaume, & une nouvelle vie dans des provinces entières qui languissent faute de commerce.

SECTION I. *Des Murs de Quai.*

XX. Il est certain qu'un bon mur de quai est l'obstacle le plus puissant qu'il y ait à opposer à la fureur des eaux, & que la meilleure manière de fixer le lit d'un fleuve, est de l'enfermer entre deux de ces murs construits en bonne maçonnerie, revêtus en pierres de taille, établis solidement sur le ferme ou sur pilotis, & élevés au-dessus des plus grandes crues.

La direction des murs de quai dépend souvent des circonstances locales, comme de la largeur des rues & de l'étendue des places

qu'on veut conſerver ou former au derrière, quelquefois même de la connoiſſance qu'on a du fonds du fleuve, car il y a ſouvent des langues de terrein ferme ſur leſquelles on peut fonder beaucoup plus ſolidement, & à bien moins de frais, que ſur d'autres très-mouvantes, qui n'en ſont pas pour cela fort éloignées. Mais toutes choſes égales d'ailleurs, on doit, autant qu'on le peut, placer les murs de quai parallèlement au fil de l'eau, parce qu'alors ils n'ont rien à ſouffrir de la part du choc de l'eau.

XXI. La diſtance entre ces murs, c'eſt-à-dire la largeur du lit, doit être telle que dans les grandes crues, il n'en réſulte aucun retardement qui faſſe gonfler les eaux; & pour cela il faut tenir le débouché au moins auſſi grand que celui des ponts au-deſſous, afin que les eaux s'écoulant auſſi promptement qu'il eſt poſſible, ne refluent pas ſur les quais & dans les rues par les ports & par les ouvertures qu'on fait aux murs de quai pour le paſſage des eaux étrangères qui viennent ſe jeter dans la rivière.

Quelquefois les rivières qui traverſent les villes s'y partagent en pluſieurs bras, dont l'un plus profond que les autres ſert à la navigation lors des baſſes eaux, pendant que ces derniers ſont preſqu'à ſec. Mais s'il n'y avoit qu'un bras, & que l'eau, lorſqu'elle eſt baſſe, ne s'y trouvât pas aſſez profonde pour être navigable, il conviendroit de la reſſerrer par un faux mur de quai FADE (*Fig. 10*). Dans le cas où le maſſif FADE deviendroit ſi conſidérable qu'il intercepteroit le paſſage à une trop grande quantité d'eau lors des crues, on peut faire un ſecond canal FELI, & ſe contenter d'une digue LIAD. Cette eſpèce de digue rentre dans la claſſe des jetées dont nous traiterons dans le troiſième chapitre.

XXII. Lorſqu'un mur de quai, ou en général un ouvrage conſtruit ſur une eau courante, a ſon parement parallèle au fil de l'eau, il ne ſouffre rien de ſon choc, comme nous l'avons déjà dit, & il n'éprouve de plus que les chauſſées d'étang, qu'un nouveau frottement occaſionné par le mouvement de tranſlation des eaux: mais lorſque le parement eſt expoſé au courant, il ſouffre encore de plus le choc de ce courant. Toutes ces cauſes de deſtruction exigent qu'on donne aux ouvrages de ce genre plus de ſolidité qu'aux chauſſées d'étang. Nous en preſcrirons les moyens, lorſque

nous aurons déterminé l'épaiſſeur que doivent avoir les murs de quai; en ayant égard tout à la fois à la preſſion, & au choc des eaux; & comme on ſait déjà faire entrer dans le calcul la preſſion des eaux, il ne reſte plus qu'à expliquer ce qui regarde le choc.

XXIII. Nous ſuppoſerons que toutes les molécules de l'eau ſe meuvent ſuivant des directions parallèles entr'elles, & avec la même vîteſſe. Ces deux hypothèſes ne ſont pas vraies en rigueur; mais elles peuvent être admiſes ſans craindre aucune erreur ſenſible dans la pratique.

Soient CDFH (Fig. 11) *la face inclinée du mur, qui rencontre le lit de la rivière ſuivant l'horizontale DF, & qui eſt frappée dans toute ſon étendue par l'eau ſuivant la direction oblique RB, que nous regarderons comme horizontale, au moins ſenſiblement; HFES la coupe verticale du mur, élevée ſur l'horizontale FE perpendiculaire à DF. Suppoſons que la hauteur des eaux, dans le temps des grandes crues, s'élève à la hauteur entière HT du mur; & ſoient HF, SE les profils des deux faces du mur. On demande l'épaiſſeur FE de ce mur à ſon pied.*

Il eſt démontré que lorſqu'un fluide frappe obliquement un plan, l'impulſion qui en réſulte perpendiculairement contre ce plan, eſt en raiſon compoſée du plan, du quarré de la vîteſſe du fluide, & du quarré du ſinus de l'angle d'incidence du même fluide ſur le plan. Or, ſi d'un point quelconque R du filet RB, on abaiſſe ſur le plan CDFH la perpendiculaire RX, & qu'on mène dans ce même plan la droite XB qui rencontre RB au point B, il eſt viſible que prenant le ſinus total pour l'unité, le ſinus de l'angle d'incidence du fluide ſur la face du mur, ſera exprimé par $\frac{RX}{RB}$; donc en nommant V la vîteſſe de l'eau, le choc perpendiculaire contre HF ſera proportionnel à $FH \times V^2 \times \frac{\overline{RX}^2}{\overline{RB}^2}$.

Soit mené, ſuivant la direction du filet horizontal RB, un plan horizontal qui rencontre la face du mur ſuivant l'horizontale AB; & par la droite RX ſoit mené un plan LKM*m*, auquel la droite AB ſoit perpendiculaire, & qui rencontre le plan horizontal paſſant par RB & par AB, ſuivant RO, & la face du mur ſuivant OX. Il eſt clair que l'angle ROX eſt égal à l'angle

HFT du talut du parement d'amont, puisque les droites RO, XO ſont évidemment perpendiculaires au même point O de l'horizontale AB. Or on a $RX = RO \times \textit{ſin.}\ ROX = RO \times \textit{ſin.}\ HFT$, & $RB = \frac{RO}{\textit{ſinus}\ RBO}$; donc $\frac{RX}{RB} = \textit{ſin.}\ HFT \times \textit{ſin.}\ RBO$; donc le choc contre HF ſera encore proportionnel à $FH \times V^2 \times (\textit{ſin.}\ HFT)^2 \times (\textit{ſin.}\ RBO)^2$.

Soient	La verticale HT *ou* SQ	$= a$
	FT	$= f$
	EQ	$= g$
	FH .... $= \sqrt{aa+ff}$	$= c$
	Le ſinus total	$= 1$
	Le ſinus de l'angle HFT .... $= \frac{a}{c}$	$= q$
	Le ſinus de l'angle RBA	$= r$
	L'épaiſſeur FE du mur à ſon pied	$= z$
	La peſanteur ſpécifique de l'eau	$= p$
	La peſanteur ſpécifique du mur	$= \Pi$.

Suppoſons de plus que ſous une vîteſſe donnée v, l'impulſion directe & perpendiculaire de l'eau contre une ligne donnée k ſoit égale à un poids connu Q : l'impulſion qui réſulte perpendiculairement contre FH ſera $= \frac{QcV^2q^2r^2}{kv^2}$.

Comme tous les points de la droite HF ſouffrent des chocs égaux, la force $\frac{QcV^2q^2r^2}{kv^2}$ doit être imaginée réunie au point P, milieu de HF. Qu'on prenne PV perpendiculaire à HF pour repréſenter cette force, & qu'on la décompoſe en deux autres PN, PZ, l'une horizontale, l'autre verticale; la première ſera $= \frac{QcV^2q^2r^2}{kv^2} \times \frac{a}{c} = \frac{QaV^2q^2r^2}{kv^2}$, la ſeconde $= \frac{Q\ q^2\ }{kv^2} \times \frac{f}{c} = \frac{QfV^2q^2r^2}{kv^2}$. Il eſt évident que la force PN tendra, ainſi que la pouſſée horizontale de l'eau qui naît de la preſſion, à renverſer le mur ſur le point E, & que la force PZ tendra, ainſi que le poids du mur & la pouſſée verticale de l'eau qui naît de la preſſion, à affermir ce même mur

ſur ſon pied FE. Or on voit par l'article XII, que le moment de la pouſſée horizontale de l'eau par rapport au point E $= \frac{pa^3}{6}$; que le moment de la pouſſée verticale $= \frac{pfza}{2} - \frac{pffa}{6}$; & que le moment du poids du mur $= \frac{\Pi azz}{2} - \frac{\Pi afz}{2} + \frac{\Pi aff}{6} - \frac{\Pi agg}{6}$.

Par conſéquent, en ſuppoſant que le mur doive avoir une ſtabilité multiple un nombre m de fois de la ſtabilité que demanderoit le ſimple équilibre, & ayant égard aux bras de levier des forces PN, PZ, on aura l'équation

$$(E) \quad \frac{mpa^3}{6} + \frac{mQa^2V^2q^2r^2}{2kv^2} = \frac{pfza}{2} - \frac{pffa}{6} + \frac{\Pi azz}{2} - \frac{\Pi afz}{2} + \frac{\Pi aff}{6} - \frac{\Pi agg}{6} + \frac{QfV^2q^2r^2}{kv^2} \times \left(z - \frac{f}{2}\right),$$

par le moyen de laquelle on déterminera l'inconnue z.

XXIV. Appliquons cette formule à un exemple. Suppoſons la hauteur HT ou SQ $=$ 18 pieds; chacun des taluts FT & QE $=$ 3 pieds; l'angle RBO (que fait la direction du courant avec le mur) $= 45°$; la vîteſſe de l'eau de 4 pieds par ſeconde; & comme ci-deſſus, la peſanteur ſpécifique de l'eau $= 7$, tandis que celle du mur $= 12$.

Nous prenons pour principe d'expérience que l'impulſion directe de l'eau ordinaire de rivière peſant 70 livres le pied cube, & mue avec une vîteſſe d'un pied par ſeconde, contre un plan d'un pied quarré en ſurface, eſt égale à un poids d'une livre trois onces, ou de $\frac{19}{16}$ onces. Soit converti le poids Q (qui n'eſt qu'une tranche, parce qu'il ne s'agit ici que de profils), en un rectangle d'eau qui ait un pied de baſe, & par conſéquent pour hauteur $\frac{\frac{19}{16}}{70}$ pied: on aura $Q = p \times 1$ pied $\times \frac{19}{16 \times 70}$ pieds, $k = 1$ pied.

Sur toutes ces conſidérations, on aura $a = 18$ pieds, $f = g = 3$ pieds, $p = 7$, $\Pi = 12$, $\frac{V^2}{v^2} = 16$, $\frac{QV^2}{kv^2} = p \times \frac{19}{16 \times 70} \times 16$ pieds $= \frac{7 \times 19}{70}$ pieds, $q^2 = \frac{36}{37}$, $r^2 = \frac{1}{2}$.

Subſtituant toutes ces valeurs dans l'équation (E), & ſuppoſant que la ſtabilité doive être double de celle que demanderoit l'équilibre, on trouvera que l'inconnue z eſt d'un peu plus de 12 pieds.

On a trouvé (art. XIII), en n'ayant égard qu'à la ſimple preſſion, que l'épaiſſeur z étoit un peu au-deſſous de 12 pieds; ainſi dans l'hypothèſe préſente, le choc n'ajoute que très-peu de choſe à l'épaiſſeur que demanderoit la ſimple preſſion. Cela ne doit point ſurprendre. Le talut fait que le choc eſt employé en partie à affermir le mur ſur ſon pied. Il peut même ſe faire que dans le cas du choc & de la preſſion, il faille moins d'épaiſſeur que dans le cas de la ſimple preſſion, comme il eſt évident à la ſeule inſpection de l'équation (E).

XXV. La preſſion & le choc des eaux ne ſont pas les ſeuls efforts que les murs de quai aient à ſoutenir : ils ſont encore preſſés, en un ſens contraire, par les terres contigues à leur parement intérieur. C'eſt pourquoi il eſt eſſentiel de calculer auſſi leur épaiſſeur relativement à cette dernière force, & de proportionner cette épaiſſeur à la plus puiſſante des deux cauſes oppoſées qui tendent à les renverſer. Nous diſons *la plus puiſſante*, car il ne ſuffiroit pas de déterminer cette épaiſſeur relativement à l'excès de la plus grande ſur la plus petite, tant parce que les terres ne joignent pas toujours exactement le derrière des revêtemens, que parce que lorſqu'elles y ſont toujours contigues, c'eſt une force qui agit continuellement, au lieu qu'il y a bien des ſaiſons où l'eau ne vient qu'au pied du mur, & où par conſéquent la pouſſée des terres a tout ſon effet ſans éprouver aucune réaction de la part de l'eau.

XXVI. Quoique nous ayons ſuppoſé dans le problême de l'article XXIV, que le profil du mur étoit le même ſur toute ſa longueur, rien ne ſera ſi facile que d'appliquer la ſolution aux murs qui ont des contre-forts.

Nous obſerverons, par rapport à ces contre-forts (*Fig.* 12), qu'ils doivent être rectangulaires, comme EFGH, dans le cas où il y auroit égalité parfaite entre la pouſſée des terres & celle de l'eau; que dans celui où la pouſſée de l'eau excéderoit celle des terres, il faut les faire en trapèzes ILMN, ſuivant l'uſage ordinaire; & qu'enfin dans le cas où la pouſſée des terres excéderoit celle de l'eau, il faudroit les faire en queue d'aronde, comme OPQR. Cette dernière forme eſt celle qui convient aux contre-forts des murs de terraſſe. L'uſage contraire eſt vicieux : car il eſt évident qu'un mur acquiert plus de ſtabilité à

mesure que son centre de gravité s'éloigne du point sur lequel il faudroit qu'il tournât pour être renversé. Quant à la distance qu'il doit y avoir entre les contre-forts, & au rapport de leurs dimensions à celle du mur, nous pensons qu'il faut les faire saillir en dehors du mur de toute l'épaisseur de ce mur à sa base, donner cette même épaisseur entière au collet OR de la queue d'aronde, le double à sa grande face PQ, & les espacer au collet de manière qu'il y ait entr'eux deux fois la largeur de ce collet.

L'avantage des contre-forts est fondé sur ce que les terres ne pressent pas suivant les mêmes loix que les fluides, & sur l'hypothèse que les matériaux, dont le mur est composé, sont assez bien liés entr'eux, pour qu'il ne puisse pas se rompre entre deux contre-forts voisins. Ceci nous conduit naturellement à l'exposition des différentes manières de construire les murs de quai relativement à la fatigue qu'ils doivent éprouver, & à la qualité du terrein sur lequel on est obligé de les établir.

XXVII. La *Figure* 13 représente le plan & le profil d'un mur de quai fondé sur le roc avec une crêche ou ris-berme AB en pierres de taille, ce qui est la meilleure construction, lorsque ces ris-bermes doivent être alternativement exposées à l'eau & à l'air. Le profil fait voir comment l'assise inférieure du parement doit être encastrée dans les dalles de la ris-berme, & l'on voit sur le plan que ces dalles ont leurs joints taillés en queue d'aronde.

La *Figure* 14 représente encore le plan & la coupe de la partie inférieure d'un mur de quai, mais avec une ris-berme de charpente sur pilotis & avec palplanches. On emploie cette construction dans les terreins d'une consistance médiocre. Le linteau A est fort utile : outre qu'il fixe & retient la queue des madriers, il prévient les dégradations que les mariniers font ordinairement au pied des murs avec leurs crocs & ferets.

Quand le fond, sans être de roc, a cependant une certaine solidité, on peut se contenter d'un seul rang de pilots, comme dans la *Figure* 15, où la ris-berme n'est d'ailleurs que pavée à sec; car le pavé en ciment revenant souvent presqu'aussi cher que des dalles en pierres de taille, cette dernière construction doit communément être préférée lorsqu'on veut faire la dépense du ciment.

Si le fond étoit tout-à-fait mauvais, il faudroit multiplier les

pilots & en mettre ſous tout le mur. On les met quelquefois même tant plein que vide, & on prétend ſouvent par ce moyen pouvoir ſe paſſer du bordage de palplanches. Ce bordage eſt cependant le meilleur & même le ſeul moyen de garantir une fondation des affouillemens. Pour le rendre plus ſolide, on taille les joints des palplanches de manière qu'elles s'encaſtrent l'une dans l'autre (*Fig.* 16) : ce qui eſt une très-grande ſujétion, & ſuppoſe d'ailleurs, pour réuſſir parfaitement, un terrein bien doux. On redouble auſſi quelquefois ce bordage, & dans ce cas il faut avoir attention, comme on le voit (*Fig.* 17), de mettre toujours plein ſur joint,

XXXVIII. Dans les pays où la pierre eſt rare & le bois commun, il eſt d'uſage de revêtir les quais entièrement en charpente. Comme on trouve dans les livres d'architecture hydraulique différentes manières d'aſſembler cette charpente, nous nous contenterons d'indiquer par un plan & un profil (*Fig.* 18), la conſtruction la plus ordinaire de ces ſortes de quais, & nous nous bornerons à deux remarques.

La première, c'eſt que les pièces de bois dont les extrêmités s'aſſemblent à tenon, ſont ſujettes, lorſqu'elles ſont fortement preſſées par l'eau ou par toute autre cauſe, à ſe fendre ſur leur épaiſſeur, ainſi que la ligne *a b* l'indique dans la *Fig.* 19. On ne peut prévenir cet accident qu'en embraſſant chacune des extrémités de ces pièces avec une frete de fer *cd* (*Fig.* 20).

La ſeconde remarque eſt, qu'on ne doit pas, par une économie mal entendue, ſe diſpenſer de peindre ou gaudronner les bois qui ſont alternativement expoſés à l'air & à l'eau. Il ne faut pas non plus négliger de mettre dans les enduits des drogues et matières propres à éloigner ou détruire les différentes eſpèces de vers qui s'attachent au bois, ſuivant ſa nature & le climat. Il eſt auſſi très-bon d'enduire les tenons & même l'intérieur des mortaiſes; mais tout bois qu'on deſtine ainſi à être enduit à ſa ſurface, doit être bien ſec avant cette opération, ſans quoi il s'échaufferoit & ſe pourriroit intérieurement, & l'on s'expoſeroit à voir manquer tout-à-coup un ouvrage qui avoit l'apparence de la plus grande ſolidité.

SECTION

SECTION II. *Des Turcies & Levées.*

XXIX. On comprend communément ſous ce nom les ouvrages qui ſe font le long de l'*Allier*, du *Cher*, & de la *Loire*, pour préſerver de l'inondation les riches campagnes ſituées ſur les bords de ces rivières.

On ſent que des murs de quai rempliroient parfaitement cet objet; auſſi y en conſtruit-on beaucoup. Mais on ne peut qu'applaudir aux vues d'économie qui ont fait chercher à y ſuppléer par différentes eſpèces d'ouvrages tous relatifs à la différente fatigue qu'ils doivent eſſuyer, & à d'autres circonſtances locales.

On ſe contente donc fort ſouvent de levées en terre bien battue lit par lit, gazonnées du côté de la campagne, & revêtues du côté de l'eau par des glacis en pierres d'échantillon (*Fig.* 21), ou par de ſimples perés en blocaille (*Fig.* 22). Comme les blocaillemens ainſi expoſés à l'eau courante, ſont plus fatigués que ceux des chauſſées d'étang, on leur donne plus de talut, & on les fortifie par des chaînes AB qu'on conſtruit avec le plus beau moilon dont on fait auſſi l'aſſiſe inférieure AA, & la ſupérieure BB.

Souvent auſſi on garantit le pied des terres par un rang de pilots (*Fig.* 23), ce qu'on appelle *peré* avec *battis*, ou par une crêche (*Fig.* 24). On voit que les crêches ſont aſſez communément des ouvrages faits après coup contre le pied d'un mur de quai, d'un glacis, ou d'un peré; car dans un ouvrage qu'on feroit entièrement à neuf, une ris-berme liée avec le mur ou avec le revêtement, eſt toujours préférable à une crêche qui ne feroit que plaquée.

XXX. Lorſque la rivière, dont on veut contenir les eaux dans leur lit par des levées, reçoit quelque rivière ou quelque ruiſſeau, on pratique dans ces levées des ponts ou des aqueducs d'une ouverture proportionnée au courant qui y doit paſſer. Mais pour empêcher que lors des crues, les eaux de la principale rivière ne refluent dans les campagnes par ces ouvertures, il faut y placer des portes buſquées que le gonflement des eaux de la même rivière retient fermées, juſqu'à ce que les eaux affluentes devenues ſupérieures, les faſſent ouvrir par leur propre poids.

Dans le cas où les crues d'été dont on veut se préserver, feroient constamment moins hautes que les grandes eaux d'hiver, qui peuvent fertiliser les campagnes par les dépôts qu'elles y laissent, on peut couper les levées par des reversoirs, dont la surface supérieure soit au-dessus des crues d'été, mais au-dessous de celles d'hiver, ce qui diminuera la hauteur des eaux que les digues auront à soutenir dans cette dernière saison. Mais la construction de ces reversoirs demande la plus grande attention, lorsque leur hauteur est considérable ; & sur-tout lorsqu'on néglige d'en soutenir les jouées, il peut en résulter des accidens sans nombre.

SECTION III. *Des Revêtemens en fascinage.*

XXXI. Les revêtemens en fascinage qu'on construit le long d'une berge, & auxquels on donne quelquefois improprement le nom d'*épis*, trouvent ici naturellement leur place.

Tout ce que nous avons dit sur l'emplacement & la direction des murs de quai s'applique aux revêtemens en fascinage. Quant à l'épaisseur de ces revêtemens, comme ils ne sont faits que pour garantir & non pour soutenir les berges, & qu'ils tirent leur force de leur contexture bien plus que de leur pesanteur, c'est un objet entièrement étranger au calcul. Cette épaisseur est ordinairement de 9 pieds par le haut, & dépend pour le surplus du talut qu'on veut donner au parement extérieur. L'usage est de donner à ce talut entre une fois & une fois & demie sa hauteur.

On trouve dans l'architecture hydraulique de *Belidor*, le détail de la construction intérieure de ces sortes d'ouvrages. Ainsi nous nous contenterons d'observer en général, qu'on les affermit par des enracinemens en culées A, & par d'autres en contre-forts B (*Fig.* 25) ; que les fascines de leurs fondations CC (*Fig.* 26, 27 & 28) doivent être placées parallèlement au parement, celles des tunes DD à l'équerre sur les premières, & enfin que le gravier, dont on recouvre chaque tune, doit être retenu par des clayons entrelacés autour de forts piquets qu'on enfonce assez avant pour qu'ils traversent au moins deux fascines.

Nous ajouterons que dans le cas où un bâtiment B (*Fig.* 29), placé à la tête d'une île, empêcheroit d'y faire l'enracinement

par lequel il faut toujours commencer un revêtement en fascinage, & forceroit de le conduire contre l'eau, il paroît indispensable de battre une file de pieux DDD sur la ligne du parement de la fondation avant que de la lancer à l'eau. Cette file de pieux seroit très-utile, même dans les cas ordinaires, parce qu'en la couronnant d'un chapeau, on pourroit, à l'aide de quelques pièces de bois appuyées par un bout sur ce chapeau & par l'autre dans la berge, soutenir à flot le bout de la fondation autant de temps qu'on le jugeroit nécessaire; car on sait qu'on ne peut procurer à ces sortes d'ouvrages la bonne liaison qui leur est si essentielle, qu'en se rendant maître des fondations & des premières tunes, de manière qu'elles ne s'enfoncent que successivement & à mesure qu'elles se perfectionnent.

XXXII. Lorsque le lit du fleuve, à l'endroit qu'on veut revêtir en fascinage, est beaucoup plus bas que le fond des excavations destinées à recevoir les enracinemens, il est impossible qu'il ne reste pas du vide sous la partie du fascinage que l'on plie pour le faire convenir à ces deux différentes profondeurs. Cet inconvénient mérite que nous proposions un moyen d'y remédier. Ce moyen consisteroit (*Fig.* 30) à draguer le fond du fleuve bien de niveau dans cette partie, & à y faire échouer une givée ABCD, de manière que son dessus affleure le fond des excavations AEHI, FNDL destinées à recevoir les enracinemens. On fixeroit ensuite cette givée sur le fond du fleuve, en la lardant de pilots battus au refus, après quoi on feroit le fascinage à l'ordinaire, mais avec beaucoup plus de facilité, parce qu'il se conduira toujours de niveau. Ce sera d'ailleurs une bonne précaution d'en affermir les extrémités par des attérissemens que deux petits épis M & O, placés, l'un à l'amont, l'autre à l'aval, ne peuvent manquer d'y former. Un plus grand détail nous écarteroit trop de notre sujet. C'est aussi pour cette raison que nous ne donnerons que les dessins sans aucune explication d'un petit tunage sans fondation (*Fig.* 31), & d'un simple revêtement en fascinage (*Fig.* 32).

XXXIII. Nous ne croyons pas devoir quitter les murs de quai, & les autres ouvrages par lesquels on y supplée, sans dire un mot des moyens encore plus simples dont on se sert communément pour empêcher une rivière & un ruisseau de ruiner ses

berges. L'ufage le plus général eft de planter des faules nains & des ofiers tout le long, & fur-tout au pied de la berge qu'on veut conferver. Ce moyen qui eft très-avantageux pour celui qui l'employe, eft très-nuifible au riverain oppofé; & lorfque celui-ci prend le même parti, ce qui arrive fouvent, c'eft alors le public qui en fouffre. Le lit devient fi étroit, que les héritages fupérieurs font inondés à la moindre crue, & que les eaux s'ouvrent fouvent un nouveau lit, ce qui eft la fource d'une infinité de dégradations & de conteftations.

Le vrai moyen d'obvier à tous ces inconvéniens feroit de fixer une largeur de lit d'après l'infpection des lieux, & d'après des informations exactes fur les crues d'eaux, auxquelles la rivière eft fujette; de faire mettre enfuite toutes les berges en talut de deux pieds pour pied, & d'obliger tous les riverains à entretenir ces taluts, chacun vis-à-vis fon héritage. La moindre attention fuffit pour voir qu'il n'y a rien de fi facile que de réparer la dégradation H du talut CD (*Fig.* 33), pendant qu'il eft impoffible de remédier à la fappe G, qui entraîne néceffairement, peu de temps après, la chute de toute la maffe GAI.

CHAPITRE III.

Des Jetées.

XXXIV. **Les** digues maritimes doivent tenir le premier rang parmi celles de cette efpèce; mais l'Académie ayant principalement en vue celles qui fe conftruifent fur les rivières, nous nous contenterons de quelques obfervations fur les premières.

L'extrême profondeur de la mer, fes courans, fon flux & reflux dans les endroits où elle y eft fujette, & fur-tout les gros temps, font autant de caufes qui exigent encore plus de précautions & de folidité dans la conftruction des ouvrages maritimes que dans ceux qui fe font communément fur les rivières. Mais beaucoup de rivières fe jetant dans la mer, on fent qu'il eft difficile de fixer le point où les ouvrages commencent à être réputés maritimes. Nous ne nous arrêterons pas à une telle recherche. Ces lignes de féparation, impoffibles peut-être à tirer entre

les productions de la nature, ne sont quelquefois pas plus aisées à saisir entre les différentes branches des arts. L'inconvénient, s'il y en a, est plus que compensé, par la généralité que cet enchaînement donne aux principes. Tout ce que nous avons dit, & tout ce que nous dirons des digues qui se font le long & au milieu des rivières, peut donc facilement s'appliquer aux digues maritimes. On construit en effet celles-ci, comme les premières, en bonne maçonnerie, en pierres sèches & même à pierres perdues, en charpente, en fascinage, &c. On observe seulement, lorsqu'on le croit nécessaire, de les rendre plus solides en augmentant leurs dimensions principales & celles des matériaux dont elles sont composées, & sur-tout en redoublant les revêtemens de palplanches, comme nous l'avons dit (art. XXVII), & en encastrant les pierres les unes dans les autres, tant pour les joints montans, que pour ceux de lit, comme il est marqué (*Fig.* 34, A).

Quelquefois encore, on redouble le parement en pierre de taille (*Fig.* 34, B). Enfin on relie les pierres, comme on le voit dans la même *Figure*, avec des crampons & des goujons de fer scellés en ciment ou en plomb. Les fers scellés en ciment font quelquefois fendre la pierre en se rouillant. On la fend aussi très-souvent en coulant le plomb, lorsqu'elle n'a pas encore jeté toute son eau. La bonne qualité de la pierre, la grosseur des blocs, & la précision de l'appareil, exemptent dans bien des cas d'avoir recours aux crampons & aux goujons, & on les a supprimés pour tous les grands ouvrages qui ont été nouvellement faits dans le département des ponts & chaussées. Il ne paroît cependant pas qu'on puisse les exclure entièrement des ouvrages maritimes, principalement de ceux qui sont alternativement exposés au flux & au reflux. Comme on ne peut dans ce cas travailler que par intervalles, on est obligé, pour ne pas perdre en marée haute ce qu'on a fait en marée basse, de donner une solidité de détail qui devient souvent inutile lorsque l'ouvrage est entièrement achevé.

Une manière de bâtir beaucoup plus en usage dans les ports de mer, & principalement sur ceux de la Méditerranée, que sur les rivières, où l'on s'en sert cependant quelquefois, est la construction par caissons ou par *encaissement*. Les bornes de ce Mémoire ne permettant pas d'entrer dans de grands détails à ce sujet, nous nous contenterons de dire que cette manière de bâtir consiste à

faire échouer précisément aux endroits où l'on doit établir l'ouvrage, de grandes caisses de charpente bien étanches. Cela se fait en y laissant entrer l'eau par une vanne pratiquée à cet effet, après quoi on referme cette vanne, & on épuise l'eau, ce qui donne la facilité de travailler à sec dans la caisse. Quelquefois on n'introduit point l'eau dans le caisson pour le faire échouer, & il s'enfonce successivement de lui-même à mesure qu'on le remplit de maçonnerie. Il y a eu des ouvrages où les caissons sont restés dans l'eau après la construction; mais plus communément on assemble les flancs des caissons de manière qu'ils puissent se démonter après que la maçonnerie est achevée, & on les fait servir successivement à plusieurs caissons. On sent toutes les précautions & l'intelligence qu'exige un pareil travail, principalement pour relier ensemble la maçonnerie des caissons successifs, & surtout combien il est essentiel de ne laisser échouer ces caissons que sur un fond dragué bien de niveau, & après en avoir enlevé toutes les boues, vases & autres matières de peu de consistance. Les machines inventées nouvellement pour réceper de niveau les pilots à telle profondeur sous l'eau, qu'on le juge à propos, donnent un nouveau degré de perfection à la construction par encaissement, qui est de la plus grande utilité dans les endroits où il seroit trop coûteux, souvent même impossible, de construire des bâtardeaux.

Quant à l'emplacement & à l'alignement des jetées & des moles, on doit principalement avoir égard à l'étendue qu'on veut donner aux ports & aux rades, à la distance entre les vives eaux & la laisse de la basse mer, à la direction des courans, & sur-tout aux différens rhumbs de vent qui règnent dans les parages où l'on travaille. La profondeur de l'eau & la qualité du sol sont encore des objets qui méritent la plus grande attention, & l'on voit facilement que, toutes choses égales d'ailleurs, il faut choisir l'endroit le moins profond & le terrein le plus solide. Passons aux jetées qui se construisent sur les rivières.

XXXV. Le but des jetées qu'on construit sur les rivières est d'en resserrer le lit, quelquefois pour les rendre navigables, mais plus souvent pour ménager la dépense des eaux & les employer à faire tourner une usine.

La plus simple de ces jetées se construit entre deux îles : telle est AB (*Fig.* 35). Le peu de largeur de l'entrée FG du bras

FGHI, eſt principalement ce qui occaſionne dans le bras DCE, & même au-deſſus, le gonflement dont on a beſoin pour l'entretien du moulin C; de ſorte que ſi la berge G étoit tendre & par conſéquent facile à ronger, cette entrée FG s'élargiroit en très-peu de temps, ce qui rendroit la jetée AB entièrement inutile.

Les jetées, telles que celle PQ (*Fig.* 36), qu'on appelle *battes* dans quelques provinces, & que l'on conſtruit ſur beaucoup de rivières navigables, ſont ſujettes au même inconvénient; & c'eſt pour y remédier, autant que cela eſt poſſible, que les meuniers ſont dans l'uſage de les prolonger toujours de plus en plus.

Quelque défectueuſes que ſoient ces jetées relativement à l'objet qu'on ſe propoſe en les conſtruiſant, & quelque préjudiciables qu'elles ſoient communément à la navigation, comme on en fait cependant beaucoup, & que ce que nous dirons de leur conſtruction peut s'appliquer à d'autres eſpèces de digues, & principalement à celles qui ſe font ſur les ruiſſeaux & ſur les petites rivières navigables, nous allons entrer dans quelques détails à ce ſujet.

XXXVI. La plupart des battes ne ſont compoſées que de deux files de pilots en grume, eſpacés tant plein que vide. On couronne chaque file d'un chapeau aſſemblé, ou ſeulement chevillé ſur les pilotis, & tout l'eſpace entre les deux files, après avoir été dragué ſur environ un pied de profondeur, eſt rempli en moilons du pays, dont on range les plus gros à la main, joignant les pieux. L'aſſiſe ſupérieure doit auſſi être rangée à la main en forme de pavé, ainſi que l'indique la *Fig.* 37. Quelquefois même on ſupprime les chapeaux ſur les pilots, & on ſe contente de jeter la pierre au haſard ſans la ranger à la main; comme dans ce cas les pilots n'ont guère que 4 à 5 pouces de diamètre, on les bat à la mailloche tant plein que vide. Souvent on y apporte encore moins de précaution; mais ces ſortes de petits ouvrages ne méritent pas la peine que nous nous y arrêtions.

On pourroit, relativement à ce qui a été dit dans les deux premiers chapitres, faire les paremens en talut & incliner par conſéquent les deux files de pieux l'une vers l'autre: telles étoient les grandes jetées de Dunkerque; mais pour les jetées & battes ordinaires, on peut s'en tenir à ce que nous venons de

prefcrire, ou fi l'on vouloit plus de folidité, à ce qui eft exprimé par la *Figure* 38; on y a fait un côté avec palplanches battues derrière des pieux équarris, & l'autre avec un fimple vannage appuyé fur des pilots ronds. Cette dernière conftruction, qui eft moins folide que l'autre, eft cependant pour l'ordinaire plus que fuffifante. Souvent on fe contente de garnir le derrière des pilots avec des fauciffons, des fafcines, & même avec de fimples claies.

Les entre-toifes DC affemblées à queue d'aronde dans les chapeaux, font préférables aux entre-toifes à mentonnet EF, tant parce qu'il eft plus facile de faire arrafer leur deffus avec celui du pavé, que parce que les mentonnets font fujets à être accrochés par les bateaux, & même à fe pourrir.

Il fuffiroit fans doute de remplir ces battes en bonne terre graffe, & elles en feroient même plus étanches dans les commencemens; mais d'un autre côté elles feroient fujettes par la fuite à beaucoup plus de réparations : on peut par conféquent s'en tenir à l'ufage où l'on eft de les remplir en pierres & gravier.

Le pavé fupérieur fe fait ordinairement à fec, avec des éclats de la même pierre, forcés à coups de maffe dans les joints, après quoi il eft bon de remplir les vides en gravier; mais fi on faifoit tout de fuite ce pavé fur forme & à joints de fable, ces joints ne tarderoient pas à fe dégrader, & le pavé à être emporté. Au refte, l'eau qui paffe ordinairement fur ces jetées ne tombant jamais de bien haut d'un côté à l'autre, leur deffus n'a pas befoin d'être conftruit auffi folidement que celui des reverfoirs qui barrent entièrement la rivière.

XXXVII. La réfiftance des pilots & des planches ou fafcines, dont les paremens des battes font compofés, compenfe & au-delà le peu de liaifon qu'il y a entre les pierres dont on les remplit ordinairement. On pourra donc fans inconvénient déterminer leur épaiffeur, comme fi elles étoient conftruites en bonne maçonnerie. Cette détermination fe fera très-aifément par les méthodes expliquées dans les deux chapitres précédens. On obfervera feulement ici qu'il ne faut avoir égard qu'à l'excès de l'effort des eaux contre l'une des faces, fur l'effort exercé contre la face oppofée. C'eft fur quoi il paroît entièrement inutile de s'arrêter plus long-temps.

XXXVIII.

XXXVIII. La tête P d'une jetée (*Fig.* 36) étant toujours la partie la plus fatiguée, on doit la conſtruire plus ſolidement que le reſte, & même la revêtir en pierres de taille. Comme il eſt d'ailleurs très-eſſentiel de ſouſtraire le plus qu'il eſt poſſible cette même tête à l'effort des eaux, nous allons déterminer la figure qu'elle doit avoir pour remplir cet objet.

Détermination de la figure la plus avantageuſe de la tête d'une jetée.

Suppoſons d'abord (*Fig.* 39) que la tête de la batte ſoit diviſée en deux parties égales & ſemblables BAD, *b*AD, par l'axe AD parallèle au fil de l'eau. Suppoſons de plus que toutes les molécules de l'eau ſe meuvent avec la même viteſſe ſuivant des directions perpendiculaires à la plus grande largeur B*b* de la tête, ce qui eſt très-ſenſiblement vrai, parce que la tête d'une jetée n'occupe jamais une largeur fort conſidérable ſur la rivière. Il s'agit de trouver une courbe BA*b* telle qu'elle ſouffre la moindre impulſion qu'il eſt poſſible de la part du choc de l'eau.

Soient MM', M'M", deux élémens conſécutifs de la courbe cherchée; & ſoient menées aux deux axes AD, BD, les coordonnées perpendiculaires MP, MQ; M'P', M'Q'; M"P", M"Q". Il eſt clair que la courbe demandée doit être telle, que la ſomme MM' + M'M", des deux élémens conſécutifs MM', M'M", éprouve une moindre impulſion que la ſomme MV + VM" de deux autres lignes quelconques infiniment petites MV, VM" terminées aux points M & M": autrement la courbe AMVM"B éprouveroit une moindre impulſion que la courbe AMM'M"B, ce qui eſt contraire à l'hypothèſe. Or, les deux élémens MM', M'M ſouffrent des impulſions perpendiculaires, leſquelles ſont exprimées reſpectivement, comme on ſait, par $V \times MM' \times \frac{\overline{M'R}^2}{\overline{MM'}^2}$ & par $V \times M'M'' \times \frac{\overline{M''R'}^2}{\overline{M'M''}^2}$, V étant la viteſſe du fluide.

Qu'on décompoſe chacune de ces forces en deux autres, l'une perpendiculaire à AD, & l'autre parallèle à AD. Il eſt évident que les deux forces perpendiculaires à AD ſont détruites par deux forces ſemblables qui proviennent des impulſions contre *m m'* &

contre $m'm''$, & que par conséquent il ne faut avoir égard qu'aux forces parallèles à AD. La première est représentée par $V \times MM' \times \frac{\overline{M'R}^2}{\overline{MM'}^2} \times \frac{M'R}{M'M} = \frac{V \times \overline{M'R}^3}{\overline{MM'}^2}$, la seconde par $V \times M'M'' \times \frac{\overline{M'R''}^2}{\overline{M'M''}^2} \times \frac{M''R'}{M'M''} = \frac{V \times \overline{M''R'}^3}{\overline{M'M''}^2}$. On aura donc par la nature du problême (à cause de V constante), $\frac{\overline{M'R}^3}{\overline{M'M}^2} + \frac{\overline{M''R'}^3}{\overline{M'M''}^2} = minimum.$

Pour déduire de la condition énoncée la nature de la courbe, considérons pour un moment les lignes MM', $M'M''$ comme finies, & les deux points M, M'' comme fixes & donnés. En faisant $MR = r$, $RM' = s$, $MH = t$, $HM'' = z$, il est visible qu'on aura $\frac{s^3}{rr + ss} + \frac{(z - s)^3}{(z - s)^2 + (t - r)^2} = minimum.$

Ainsi suivant les règles du calcul différentiel, il faut prendre la différentielle de cette quantité & l'égaler à zéro. Mais avant que de passer à cette opération, on remarquera qu'en vertu de l'hypothèse que les deux points M & M'' sont fixes, les quantités t & z sont constantes. De plus il est évident que des deux autres quantités r & s, on peut ne faire varier que la seule quantité r, en supposant pour cela que les deux lignes MM', $M'M'$ doivent se terminer au même point M' de la ligne $M'Q'$ donnée de position, puisqu'il n'y a que la courbe cherchée qui ait la propriété de rendre l'impulsion sur $MM' + M'M''$, moindre que l'impulsion sur $MV + VM''$, le point V étant aussi placé sur la droite $M'Q'$.

Cela posé, si l'on fait la différentiation proposée, suivant r seulement, & qu'après avoir tout divisé par dr, on égale le résultat à zéro, on trouvera

$$\frac{rs^3}{(rr + ss)^2} - \frac{(t - r)(z - s)^3}{((z - s)^2 + (t - r)^2)^2} = 0;$$

C'est-à-dire $\frac{MR \times \overline{RM'}^3}{\overline{MM'}^4} = \frac{M'R' \times \overline{R'M''}^3}{\overline{M'M''}^4}$.

On voit par-là que la nature de la courbe cherchée, doit être telle que MR & RM', étant respectivement les différentielles de l'abscisse, & de l'ordonnée, le rapport $\frac{MM \times \overline{RM'}^3}{\overline{MM'}^4}$ soit toujours constant. Donc en supposant à l'ordinaire l'abscisse $AP = x$,

l'ordonnée PM $= y$, on aura l'équation $\frac{dx\,dy^3}{(dx^2 + dy^2)^2} = n$, n étant un nombre constant.

Soit $dx = z\,dy$: on aura $\frac{z}{(zz + 1)^2} = n$; d'où l'on voit que z est aussi un nombre constant. Soit pour abréger $z = m$, on aura $dx = m\,dy$. Donc en intégrant, $x = A + my$, équation à la ligne droite; donc B A *b* est un assemblage de lignes droites, & n'est point une courbe comme on l'avoit supposé avant que de connoître la nature de cette ligne.

Si, outre la condition du *minimum*, on avoit eu encore à remplir celle de l'*Isopérimétrisme*, ou quelque autre équivalente, il auroit fallu prendre trois élémens consécutifs de la courbe. Alors considérant les deux points extrêmes comme fixes, on auroit eu deux conditions pour déterminer la position des deux points intermédiaires, et pour parvenir de-là à l'équation de la courbe.

XXXIX. Examinons maintenant quelle doit être la position des lignes droites qui doivent former la tête de la batte pour éprouver le moindre choc qu'il est possible.

La question se réduit à *construire* (Fig. 40) *sur la base donnée* B b *double de* B D, *un trapèze* B S s b *de hauteur donnée* A D, & *composé de deux parties égales & semblables* B S A D, b s A D, *lequel éprouve une moindre impulsion que tout autre trapèze de même base & de même hauteur, & divisé aussi en deux parties égales & semblables par l'axe* A D.

Soit menée SL perpendiculaire sur B*b*; & supposons A D $= a$, DB $= c$, l'indéterminée AS ou DL $= u$. L'impulsion sur le systême des deux lignes BS, SA dans le sens de l'axe AD, sera proportionnelle à $\frac{(c-u)^3}{a^2 + (c-u)^2} + u = minimum$;

donc $\frac{-3(c-u)^2\,du}{a^2+(c-u)^2} + \frac{2(c-u)^3(c-u)\,du}{(a^2+(c-u)^2)^2} + du = 0$.

D'où l'on tire sans peine $u = c - a$.

Par-là on voit que si $c = a$, ou si AD $=$ BD, la tête de la batte sera un triangle isocèle, dont chacun des angles à la base sera de 45 degrés. Si $c > a$, on aura BL $=$ SL, & la tête de la



batte fera un trapèze $BSsb$, dont les deux angles à la base B & b feront chacun de 45 degrés. Enfin, si $c < a$, la valeur de u sera négative; & comme AS ne peut pas tomber du côté opposé, puisque la tête de la batte se trouve au point A par la nature du problême, il s'ensuit qu'on ne pourra tout au plus que mener au point A les droites BA, bA, & qu'alors la tête de la batte sera le triangle isocèle BAb.

Comme on est ordinairement maître de donner à la tête de la batte la saillie qu'on juge à propos, ou de fixer à volonté le rapport des lignes AD, BD, & que d'ailleurs il est très-avantageux de distribuer uniformément le choc de l'eau sur tous les points des faces de la tête, il résulte de ce qu'on vient de dire, que la meilleure forme qu'on puisse lui donner est celle d'un triangle rectangle isocèle BAb. On doit avoir soin d'armer de fer l'angle A, afin qu'il divise plus facilement les glaces qui viendroient le frapper, & d'arrondir les angles d'épaulemens B & b, pour diriger plus insensiblement le cours de l'eau le long du parement de la batte.

XL. Si la tête de la batte, au lieu d'être exposée directement au fil de l'eau, comme on l'a supposé dans les deux articles précédens, avoit une position oblique par rapport au courant, on trouveroit encore, par une analyse pareille à celle de l'article XXXVIII, qu'elle devroit être composée de lignes droites, & cela, soit que le *minimum* d'impulsion résulte des forces entières que souffrent perpendiculairement tous les points des faces, soit que ce *minimum* résulte des mêmes forces décomposées suivant des directions parallèles à des lignes quelconques données de position. Partout la ligne droite se reproduit. On voit encore par-là que, quand il n'y a pas une différence sensible entre les vîtesses des différens filets qui viennent frapper les paremens de la jetée, ces paremens doivent être rectilignes. Il est heureux que la figure rectiligne, qui est la plus commode pour la pratique, soit précisément celle que donne la théorie.

XLI. Ce principe général posé, pour déterminer la tête d'une batte dont le parement BH fait avec la direction du courant un angle quelconque, on pourra (*Fig.* 41) tirer Bb perpendiculaire à BH, & sur Bb comme base, construire un triangle BAb, dont le côté Ab soit parallèle au fil de l'eau : alors il n'y aura que

AB qui en souffre le choc, & il est évident que ce choc sera d'autant moindre que l'angle A sera plus aigu.

Si l'on veut que les deux faces AB, Ab (*Fig.* 42) soient frappées, & qu'elles souffrent des chocs perpendiculaires égaux, voici comment on trouvera la position de ces lignes, en supposant que le sommet inconnu A doive être distant de la base Bb d'une quantité connue.

Sur Bb toujours perpendiculaire aux paremens BH, bh, on imaginera que du point A tombe la perpendiculaire AK; on tirera BE perpendiculaire à la direction du courant, & du point A on abaissera AE perpendiculaire sur BE. Alors il est clair que l'impulsion perpendiculaire contre AB sera proportionnelle à $AB \times (\text{sin.}\, BAE)^2$, & que l'impulsion perpendiculaire contre Ab, sera proportionnelle à $Ab \times (\text{sin.}\, bAE)^2$; il faudra donc déterminer le point K par la condition qu'on ait $AB \times (\text{sin.}\, BAE)^2 = Ab \times (\text{sin.}\, bAE)^2$. Soient les connues $AK = a$, $Bb = b$, le sinus total $= 1$, le sinus de l'angle $EBb = q$, son cosinus $= r$, l'inconnue $BK = x$. On aura $AB = \sqrt{aa + xx}$, $\text{sin.}\, BAK = \frac{BK}{AB} = \frac{x}{\sqrt{aa + xx}}$; & comme l'angle EAK est évidemment égal à l'angle EBb, il s'ensuit par les règles de la trigonométrie, que $\text{sin.}\, BAE = \frac{qa + rx}{\sqrt{aa + xx}}$. On aura de même $bA = \sqrt{aa + (b - x)^2}$, $\text{sin.}\, bAK = \frac{bK}{Ab} = \frac{b - x}{\sqrt{aa + (b - x)^2}}$, & par les règles de la trigonométrie; $\text{sin.}\, bAE = \frac{(b - x)r - qa}{\sqrt{aa + (b - x)^2}}$. Nous aurons donc par la condition énoncée ci-dessus,

$$\sqrt{aa + xx} \times \left(\frac{qa + rx}{\sqrt{aa + xx}}\right)^2 = \sqrt{aa + (b - x)^2} \times \left(\frac{(b - x)r - qa}{\sqrt{aa + (b - x)^2}}\right)^2,$$

ou bien

$$\frac{(qa + rx)^2}{\sqrt{aa + xx}} = \frac{((b - x)r - qa)^2}{\sqrt{aa + (b - x)^2}},$$

équation de laquelle on tirera l'inconnue x.

XLII. Tout ce que nous venons de dire sur la forme & la position des têtes des jetées, s'applique de soi-même aux éperons A qui se font à la tête des îles (*Fig.* 43). Quant à ceux T qu'on construit à la queue des îles, & par lesquels on doit terminer une jetée dont la partie d'aval seroit entiérement isolée, l'irrégu-



larité des efforts qu'ils ont à soutenir de la part de l'eau, ne permet pas de leur assigner de forme par le calcul. En effet, les eaux ayant été divisées par l'éperon A, celles qui sont adjacentes à l'éperon T n'ont point de vîtesse de translation : elles sont dormantes dans un certain espace XZY. Les eaux voisines, en venant les choquer, les tiennent par ce choc comme suspendues, & font à leur égard à-peu-près la fonction des parois d'un vase ; mais comme ces parois ne sont point ici des appuis immobiles, qu'au contraire ils changent sans cesse par la succession des molécules d'eau, il est clair qu'il y a une action & une réaction continuelles entre le choc des eaux courantes, & la pression des eaux dormantes ; & comme il est impossible que ces deux forces soient constamment dans un équilibre absolu, de leur opposition doivent nécessairement résulter des agitations en toutes sortes de sens dans toute la profondeur des eaux. Ces agitations qui produisent des affouillemens sous l'éperon & qui en dégradent les paremens, sont absolument indéterminables par la géométrie ; ainsi nous n'entreprendrons point d'assigner la courbe la plus avantageuse pour leur résister. On emploiera celle qu'on jugera la plus convenable selon les circonstances. Nous nous contenterons de dire que les angles des épaulemens doivent être les moins tranchans qu'il se pourra, tant parce qu'ils en seront plus solides, que parce qu'ils en occasionneront moins de tournoiemens.

CHAPITRE IV.

Des Reversoirs.

XLIII. Les reversoirs ont pour objet, comme les battes, de faire gonfler l'eau d'une rivière au-dessus d'un moulin ou d'un sas d'écluse ; mais ils en diffèrent non-seulement par leur direction, qui est communément moins dans le sens du courant que celle des battes, mais encore parce que ces dernières laissent en tout temps un libre cours à une partie de l'eau, au lieu que les reversoirs la barrent entièrement jusqu'à ce qu'elle ait acquis assez de hauteur pour passer par-dessus. C'est pour cette raison

qu'ils sont préférables aux battes, qui, comme nous l'avons déjà remarqué, ne remplissent que très-imparfaitement l'objet qu'on se propose en les construisant.

XLIV. Les reversoirs se placent ou en travers de la rivière, comme AB (*Fig.* 44), ou à l'entrée d'un second bras, comme CD (*Fig.* 45).

Il se présente à ce sujet deux questions à examiner : la première sur l'endroit de la rivière où l'on doit placer le reversoir, la seconde sur la direction qu'on doit lui donner.

Nous répondons à la première que lorsqu'on n'est point gêné par d'autres considérations, on doit préférer l'endroit de la rivière le plus large, qui est ordinairement le moins profond; car de deux digues, dont les paremens exposés à l'eau sont égaux en surface, la plus longue exige moins d'épaisseur & consomme par conséquent moins de matériaux. C'est ce qu'on verra aisément par les formules de l'art. X. Si cependant il y avoit peu d'eau à soutenir, comme dans ce cas la digue a ordinairement plus de force & par conséquent plus d'épaisseur qu'il ne lui en faut, on pourroit, pour en diminuer la longueur, choisir l'endroit de la rivière le plus étroit.

Nous observerons, par rapport à la seconde question, que c'est une erreur de placer les digues obliquement au courant, dans la vue de diminuer l'effort qu'elles auront à soutenir; car dans le cas de la simple pression, qui est le plus ordinaire, cette pression se faisant toujours perpendiculairement au parement, la digue ne doit pas avoir moins d'épaisseur, quelle que soit son obliquité. Le plus de longueur qui en résulte est donc une dépense en pure perte. Quant aux digues qui seroient en même temps exposées au choc de l'eau, ce choc ajoute si peu à la pression, qu'on ne regagneroit jamais sur l'épaisseur la dépense qu'entraîneroit l'augmentation de longueur ; ce qui est d'autant plus vrai, que la maçonnerie du parement est toujours plus coûteuse que celle du remplissage. Ces réflexions conviennent à toutes les digues destinées à barrer un bras de rivière ; mais il y a de plus une raison particulière pour placer les reversoirs à l'équerre sur le lit du fleuve, c'est que toute direction oblique, en rejetant les eaux contre une des berges, tend nécessairement à la détruire.

XLV. Lorsqu'un reversoir est placé sur une rivière navigable,

il faut y pratiquer un pertuis E qu'on ne tient ouvert que pendant le paſſage des bateaux, & qu'on referme enſuite de différentes manières, dont l'examen eſt étranger à cet ouvrage. Nous remarquerons ſeulement que lorſque la chute de l'eau excède trois pieds, le paſſage d'un pertuis devient très-dangereux, & qu'il conviendroit pour lors de ſubſtituer à ce pertuis un ſas d'écluſe avec tout ce qui en dépend.

XLVI. L'épaiſſeur des reverſoirs & les taluts de leurs paremens, tant d'amont que d'aval, ſe déterminent d'après ce qui a été enſeigné dans les deux premiers chapitres, en obſervant qu'un reverſoir eſt ſouvent chargé d'eau ſur toute ſa hauteur du côté d'amont, pendant qu'il eſt à ſec à celui d'aval.

XLVII. Il y a long-temps qu'on cherche la courbure qu'il convient de donner au couronnement d'un reverſoir, afin que ce même couronnement ne ſoit pas plus fatigué dans un endroit que dans l'autre par les eaux qui coulent deſſus, & que de plus les eaux à leur chute au-delà du reverſoir ſoient amenées inſenſiblement à une direction horizontale. Cette courbe n'eſt peut-être pas déterminable en rigueur, ſi l'on veut avoir égard à toutes les circonſtances qui entrent dans la queſtion. Mais nous croyons qu'on parviendra à s'en former quelque idée, au moyen du problême que nous allons réſoudre.

Conſidérons une lame d'eau infiniment mince, ou plutôt un ſimple filet d'eau compoſé de molécules qui ſe ſuccèdent les unes aux autres tout le long du couronnement du reverſoir; & qu'on nous permette de ſuppoſer que chaque molécule ſe meut de la même manière que ſi elle étoit ſeule, & qu'elle n'éprouvât par conſéquent aucune action ni réaction de la part des molécules contiguës; ce qui n'eſt pas fort éloigné de la vérité. Nous nous propoſons en conſéquence *de déterminer la courbe que doit décrire chaque molécule regardée comme un corps iſolé, de manière que cette courbe ſouffre une preſſion égale dans tous ſes points, en ſuppoſant la molécule ſoumiſe à l'action de la peſanteur & d'un frottement proportionnel au produit de la preſſion & d'une puiſſance quelconque de la viteſſe :* problême intéreſſant en lui-même, indépendamment de toute application dont il peut être ſuſceptible dans la pratique.

Il n'eſt pas fait mention dans l'énoncé de ce problême de

l'autre

l'autre propriété qu'il faudroit que la courbe demandée eût d'amener les eaux à une tendance horizontale, parce qu'il peut se faire que cette propriété ne soit pas compatible avec la première, & que la chose ne pourra être décidée qu'à la fin de la solution.

Soit AMN (*Fig.* 46) la courbe cherchée. Qu'on mène à l'axe vertical AH, les ordonnées quelconques infiniment voisines PM, *pm*; & soit OM le rayon de la développée qui répond au point M. Soit prise la verticale MK pour représenter la pesanteur de la molécule parvenue en M, & soit décomposée cette force en deux autres MQ, ME, l'une perpendiculaire, l'autre tangente à la courbe.

Supposons	La gravité........................	$= g$
	La masse de la molécule..................	$= m$
	La vîtesse de *m* le long de l'élément M*m*...	$= u$
	AP..............................	$= x$
	PM..............................	$= y$
	MR..............................	$= dx$
	R*m*..............................	$= dy$
	M*m*..............................	$= ds$
	Le rayon OM de la développée...........	$= R.$

Il est clair qu'à cause des triangles semblables MEK, MR*m*, la force absolue MQ ou KE, sera exprimée par $gm \times \frac{dy}{ds}$, & la force absolue ME par $gm \times \frac{dx}{ds}$.

Quelle que puisse être la nature de la courbe cherchée, la pression que souffre le point M perpendiculairement à M*m*, est toujours égale à la somme de la force MQ & de la force centrifuge qu'a la molécule au point M. Ainsi cette pression sera représentée par $\frac{gm\,dy}{ds} + \frac{muu}{R}$; & comme elle doit être la même dans tous les points de la courbe, on l'égalera à une constante C, & l'on aura l'équation

$$(A)\quad \frac{gm\,dy}{ds} + \frac{muu}{R} = C.$$



G



La masse m est accélérée dans le sens Mm par la force ME, & elle est retardée par la résistance du frottement qu'il faut regarder comme une force dirigée dans le sens opposé mM. Or le frottement étant une partie déterminée du produit de la pression par une puissance quelconque de la vîtesse, il sera exprimé par $\frac{Cu^n}{p}$, (p étant un nombre positif plus grand que l'unité, n un exposant quelconque.) Par conséquent la force accélératrice absolue de m le long de Mm sera $\frac{gmdx}{ds} - \frac{Cu^n}{p}$; & l'on aura par le principe ordinaire des forces accélératrices, l'équation

$$(B)\quad mudu = \left(\frac{gmdx}{ds} - \frac{Cu^n}{p}\right) ds = gmdx - \frac{Cu^n ds}{p}.$$

Il n'est plus question que de tirer de ces deux équations la rélation entre x & y.

Qu'on substitue dans l'équation (A), à la place de R, sa valeur $\frac{dsdx}{ddy}$ dans laquelle ds est supposé constant; on aura (en faisant pour abréger un peu le calcul, $\frac{C}{m} = a$)

$\frac{gdy}{ds} + \frac{uuddy}{dsdx} = a$, ou bien $uu = \frac{adsdx - gdydx}{ddy}$.

Supposons $dy = zds$, & par conséquent aussi $ddy = dzds$: on aura $uu = \frac{adx - gzdx}{dz} = \frac{dx}{dz}(a - gz)$; donc $udu = -\frac{gdx}{2} + \left(\frac{a-gz}{2}\right) d\left(\frac{dx}{dz}\right)$; $u^n = \left(\frac{dx}{dz}\right)^{\frac{n}{2}} (a - gz)^{\frac{n}{2}}$.

Mettons ces valeurs de udu, & de u^n dans l'équation (B); mettons aussi pour ds sa valeur $\frac{dx}{\sqrt{1-zz}}$, & faisons pour abréger $\frac{C}{pm} = b$: nous aurons $-\frac{gdx}{2} + \left(\frac{a-gz}{2}\right) d\left(\frac{dx}{dz}\right) = gdx - \frac{b\left(\frac{dx}{dz}\right)^{\frac{n}{2}}(a-gz)^{\frac{n}{2}}dx}{\sqrt{1-zz}}$, ou bien

$$d\left(\frac{dx}{dz}\right) = \frac{3gdx}{a-gz} - \frac{2b\left(\frac{dx}{dz}\right)^{\frac{n}{2}}(a-gz)^{\frac{n}{2}-1}dx}{\sqrt{1-zz}}.$$

Supposons $\frac{dx}{dz} = q$, ou $dx = qdz$, & pour abréger le calcul, pre-



nons $\frac{3g}{gz - a} = - \mathrm{M}$, $\frac{2b(a - gz)^{\frac{n}{2} - 1}}{\sqrt{1 - zz}} = \mathrm{N}$; on aura la transformée

$dq + \mathrm{M}q\,dz + \mathrm{N}q^{\frac{n}{2} + 1}\,dz = o$, ou bien $q^{-\left(\frac{n}{2} + 1\right)}\,dq + \mathrm{M}q^{-\frac{n}{2}}\,dz + \mathrm{N}dz = o$.

Pour rendre cette équation intégrable, on multipliera tous les termes par $c^{\int - \frac{n}{2}\mathrm{M}dz}$ quantité qu'on découvre par des méthodes connues, & dans laquelle c eſt le nombre dont le logarithme eſt 1; ce qui donnera

$$q^{-\left(\frac{n}{2} + 1\right)}\, c^{\int - \frac{n}{2}\mathrm{M}dz}\, dq + \mathrm{M}q^{-\frac{n}{2}} \times c^{\int - \frac{n}{2}\mathrm{M}dz}\, dz + \mathrm{N}c^{\int - \frac{n}{2}\mathrm{M}dz}\, dz = o,$$

dont l'intégrale eſt $\frac{-2q^{-\frac{n}{2}}\, c^{\int - \frac{n}{2}\mathrm{M}dz}}{n} + \int \mathrm{N}c^{\int - \frac{n}{2}\mathrm{M}dz}\, dz = \mathrm{B}$.

D'où l'on voit que q eſt une fonction donnée de z. Soit repréſentée cette fonction par P : puiſque $dx = q\,dz$, on aura $dx = \mathrm{P}dz$; donc x ſera auſſi une fonction donnée de z. Donc à cauſe de $dy = \frac{z\,dx}{\sqrt{1 - zz}}$, y ſera encore une fonction de z. Par conſéquent les deux coordonnées x & y étant exprimées par le moyen de la même variable z, on pourra conſtruire la courbe demandée.

On ne connoît pas exactement la manière dont la vîteſſe influe ſur le frottement. Si l'on ſuppoſoit que le frottement fût ſimplement proportionnel à la preſſion, on trouveroit, en remontant aux deux équations fondamentales (A) & (B), & en employant la même analyſe qu'on emploie lorſqu'il s'agit de trouver la courbe d'*égale preſſion* dans le vide, que la courbe cherchée eſt géométrique. Mais ſi on ſuppoſe avec quelques auteurs, que le frottement eſt en raiſon compoſée de la preſſion & de la vîteſſe (hypothèſe qui nous paroît ici préférable à toute autre), on aura $n = 1$, & la courbe demandée ſera à-peu-près telle que nous l'avons repréſentée dans notre *Figure*. On voit qu'elle tend encore à amener le corpuſcule qui deſcend à une direction hori-



zontale. Malheureusement elle est comme impossible à exécuter dans la pratique, à cause de l'extrême complication des valeurs des coordonnées x & y. De plus il faut observer que la vîtesse initiale étant un des paramètres de la courbe, lorsque cette vîtesse vient à changer (ce qui arrive ici continuellement à mesure que les eaux croissent ou baissent), les dimensions de la courbe changent aussi nécessairement, & que par conséquent la courbe individuelle qui convient à un cas, ne convient pas rigoureusement à un autre.

D'après ces remarques, tout ce qu'on peut demander est la construction mécanique ou graphique de quelque courbe qui remplisse l'objet proposé d'une manière suffisamment exacte pour la pratique : en voici une qui nous paroît avoir cette propriété.

XLVIII. La hauteur AB de la digue (*Fig.* 47) étant donnée, faites sa largeur AC égale à deux fois & demie cette hauteur AB. Tirez ensuite la ligne de construction CB, & décrivez du centre A & de l'intervalle AB, l'arc BED qui rencontrera CB au point D; élevez CF perpendiculaire sur CA; divisez CD en deux également au point G, & élevez la perpendiculaire CH qui coupera CF au point I. De ce point I, comme centre, décrivez l'arc CLD, qui, joint à l'arc DEB, donnera la courbe cherchée CLDEB.

Il est vrai que le frottement est très-considérable le long du parement en talon renversé que donne cette courbe, ce qui force à n'en faire usage que lorsqu'on a des matériaux fort durs, & surtout d'un très-grand échantillon; mais lorsqu'on en peut trouver de cette qualité, & lorsque la hauteur de la chute est considérable, il n'y a point à balancer à se servir de la courbe. Le frottement n'a d'autre effet que d'user à la longue le couronnement du reversoir, ce qui donne la facilité de faire en temps convenable les réparations qu'on croit nécessaires, au lieu que la chute de l'eau & sur-tout des glaçons sur un plancher horizontal, brise & détruit ce plancher au moment où on s'y attend le moins, & presque toujours dans le temps des grandes eaux ou des débacles, de sorte qu'il est souvent impossible d'y remédier à temps.

Lorsqu'on n'a pas de matériaux des qualités requises pour faire un reversoir en talon renversé; lorsque la hauteur de la

chute n'eſt pas aſſez conſidérable pour exiger cette dépenſe, & enfin lorſque la hauteur de l'eau ſur le radier eſt en tout temps aſſez forte pour rompre le coup de celle qui tombe, & ſur-tout des glaçons, on peut ſe contenter d'une digue dont les paremens ſoient en talut, d'après ce qui a été dit à ce ſujet ſur les autres digues, & le deſſus en pente, le tout ainſi que la *Fig.* 48 le repréſente.

Il eſt évident que le deſſus du reverſoir n'éprouve aucune fatigue s'il eſt dirigé ſuivant un talut BE qui ne ſoit pas rencontré par la parabole BQF repréſentant la courbe que l'eau décriroit ſi elle étoit abandonnée à elle-même. Si on dirigeoit au contraire ce deſſus ſuivant un talut BG qui rencontrât la parabole au point H, toute la partie OG ſeroit labourée par des ondulations paraboliques qui tendroient à la dégrader; d'où l'on voit qu'il faut toujours tracer le deſſus d'un reverſoir, de manière qu'il ne puiſſe pas être rencontré par la parabole que l'eau décrit en tombant.

Si la digue DBEC, enfermée ſous la parabole BF, n'étoit pas aſſez épaiſſe pour ſoutenir les eaux dont elle eſt chargée, il faudroit augmenter ſon épaiſſeur du côté d'amont & faire le deſſus BN de ce repaiſſiſſement de niveau, afin de ne rien changer à la parabole BHQF.

Dans le cas où cette digue DBEC ſeroit ſuffiſante, mais où le talut EB rendroit l'angle EBD trop aigu, il ſeroit très-utile de donner au-deſſus du reverſoir la courbure BOH de la parabole.

Il ne reſte donc plus de difficulté que par rapport au choc de l'eau contre le fond CF ou contre le radier, qu'il eſt toujours indiſpenſable d'y conſtruire lorſque le reverſoir n'eſt pas établi ſur le roc. Nous obſerverons à ce ſujet qu'il eſt pour le moins inutile de chercher à ramener les eaux au pied du reverſoir en inclinant de ce côté le radier *de* (*Fig.* 49); car outre que ce radier eſt par ce moyen frappé plus directement, les eaux réfléchies en B, ſuivant un plus grand angle que ſi le radier étoit de niveau, tomberont vers C de plus haut, & y produiront par conſéquent un plus grand affouillement. Une pente en ſens contraire produiroit encore plus directement l'affouillement: il faut donc s'en tenir à la poſition horizontale.

XLIX. Paſſons maintenant à ce qui regarde la conſtruction des

reverſoirs relativement au plus ou moins de ſolidité qu'ils doivent avoir ſelon la charge d'eau qu'ils ont à ſoutenir & les matériaux avec leſquels on eſt obligé de les conſtruire, en commençant comme nous avons toujours fait, par les conſtructions les plus ſimples & les moins coûteuſes.

La *Figure* 50 repréſente la coupe d'un reverſoir ſemblable à ceux qu'on conſtruit ſur les petites rivières, & lorſqu'on veut épargner la dépenſe.

On voit (*Fig.* 51), l'élévation & la coupe d'un reverſoir de charpente, avec ſon plancher bronchant AB qui doit s'étendre pluſieurs pieds au-delà de la chute des plus grandes eaux.

Le reverſoir repréſenté (*Fig.* 52), eſt établi ſur le roc, & eſt conſtruit en maçonnerie. Si le roc, au lieu de ſe trouver à la ſurface, étoit à pluſieurs pieds de profondeur, comme dans la *Figure* 53, il faudroit deſcendre la fondation juſqu'au ſolide, & conſtruire en aval le radier BA, dont la maçonnerie doit être liée avec le corps de la digue, & doit s'étendre, comme le plancher bronchant de la *Figure* 51, au-delà de la chute des eaux. Le corroi de glaiſe E ne peut être que de la plus grande utilité. C'eſt une petite dépenſe par rapport à la totalité de l'ouvrage, & l'on ſe repent preſque toujours de ne l'avoir pas faite.

Dans le cas où l'on voudroit conſtruire un reverſoir en maçonnerie ſur un fond abſolument mauvais (*Fig.* 54), le corroi de glaiſe E eſt encore plus eſſentiel, & il faut établir, tant la digue que ſon radier, ſur pilotis avec de bons bordages de palplanches en amont & en aval, le tout ainſi qu'il eſt exprimé dans la *Figure* 54. La dépenſe d'un plancher de madriers ſur le grillage qui couronne les pilots, ſeroit plus qu'inutile dans cette eſpèce d'ouvrage, puiſque ce plancher interromproit la liaiſon entre la maçonnerie dans les caſes de grillage, & celle de la digue.

Enfin on voit, *Figure* 55, la coupe d'un reverſoir dont le deſſus ſeroit formé ſuivant la méthode que nous avons donnée (article XLVIII). On y a marqué la manière dont les pierres doivent être appareillées & poſées pour qu'il ne s'y trouve pas d'angle trop maigre, & pour que leur lit inférieur ſoit toujours de niveau.

L. Un objet de la plus grande importance pour la ſolidité des

reverſoirs, eſt de bien aſſurer leurs extrémités par des enracinemens ou culées AB, CD (*Fig.* 56), qui doivent s'élever au niveau du deſſus des berges, & dont les jouées B & C doivent être conſtruites avec les plus beaux quartiers de pierre reliés & encaſtrés ſuivant que les circonſtances l'exigeront, d'après ce que nous avons dit de la conſtruction des murs de quai, & même de celle des digues maritimes.

L'obſervation que nous avons faite ſur le danger qu'il y avoit de mettre l'eau contre les digues en terre, ſi-tôt qu'elles ſont achevées, doit auſſi avoir lieu pour les digues en maçonnerie, & ſur-tout pour les reverſoirs. Quantité d'ouvrages de cette eſpèce, très-bien faits d'ailleurs, ont été renverſés, parce qu'on s'eſt trop précipité à cet égard. Il y a à la vérité des circonſtances où l'on ne peut faire autrement, comme quand un ouvrage ne ſe trouve achevé qu'à la fin de l'automne. En ce cas il ſeroit très-utile de le revêtir en vieilles planches retenues avec un bâtis de charpente, auſſi en vieux bois, pour épargner la dépenſe; car il ſuffit que ce revêtement puiſſe paſſer l'hiver, après quoi l'ouvrage eſt ſauvé, s'il a été conſtruit avec quelque attention..

CHAPITRE V.

Des Epis.

LI. On donne quelquefois indifféremment le nom d'épis à toutes les digues, dont l'objet eſt de conſerver les berges d'une rivière; & c'eſt en ce ſens qu'on appelle *épis* le long du Rhin, les revêtemens en faſcinages, que nous avons cru devoir placer dans le même chapitre que les murs de quai, parce qu'ils en tiennent réellement lieu dans les endroits où on les conſtruit.

Les épis proprement dits, dont il s'agit ici, ſont (*Fig.* 57) des bouts de digues AB, CD, EF, deſtinés à modifier le cours d'une rivière, de manière qu'elle ſe rétabliſſe comme d'elle-même dans ſon premier état, en détruiſant les attériſſemens & en rempliſſant les affouillemens que l'irrégularité & la rapidité du courant y ont formés.

Les épis proprement dits ne sont donc point des ouvrages permanens ; & leur objet une fois rempli, on voit que si on les laissoit subsister plus long-temps, les inconvéniens auxquels on auroit remédié sur une rive, ne tarderoient pas à se faire appercevoir sur la rive opposée. On a dû, par cette raison, chercher les moyens de parvenir au même but sans construire à grands frais des ouvrages dont la démolition occasionne peu de temps après une nouvelle dépense. C'est pour cela qu'on se contente souvent de faire échouer à propos quelque vieux bateau qu'on déchire & qu'on retire par morceaux, lorsqu'il a produit l'effet qu'on en attendoit.

Une autre considération vient à l'appui de la précédente, pour construire les épis le plus légérement que la profondeur & la rapidité du courant le permettent; c'est que presque toujours les circonstances cessent d'être les mêmes à mesure que l'épi produit son effet, & varient même d'autant plus promptement qu'il agit avec plus de succès. Les épis ambulans sont en ce cas d'une très-grande utilité.

LII. La plupart des épis ambulans ne sont autre chose qu'une givée de fascines qu'on fait échouer où l'on veut, en la chargeant de pierres, & qu'on remet à flot en ôtant ces mêmes pierres, & en attachant le long de son pied des tonneaux vides & bien bouchés, auxquels on fait prendre fond à l'aide d'un pareil nombre de poulies fixées solidement dans cette givée.

On emploie encore avec succès des pontons semblables à ceux dont on se sert pour faciliter le curement des ports de l'Océan. *Belidor* recommande même l'usage du radeau de *Castaing*, par rapport à la facilité avec laquelle on peut le transporter & changer sa direction & son talut. Il est vrai que ce radeau a tous ces avantages dans les ports de l'Océan, parce qu'il s'échoue de lui-même en marée basse dans l'endroit où on le conduit à la faveur de la marée haute; mais il n'en est pas de même sur les rivières où il faudroit le faire assez lourd pour qu'il s'enfonçât par son propre poids, & où l'on ne pourroit par conséquent le mettre & le retenir à flot qu'à l'aide d'autres radeaux plus légers, ou avec des bateaux & des tonneaux : on sent combien cela en compliqueroit la manœuvre.

LIII. Lorsque la trop grande ou trop petite profondeur de l'eau, sa



ſa rapidité ou d'autres circonſtances ne permettent pas de faire uſage des épis ambulans; ou que l'effet que l'on ſe promet d'un épi doit néceſſairement être l'ouvrage de pluſieurs années, il faut alors conſtruire un épi dormant & proportionner ſa ſolidité au temps pendant lequel on préſume qu'il devra ſubſiſter.

Le plus ſimple & le plus ordinaire des épis dormans eſt compoſé d'une file de pilots battus à la ſonnette, qu'on eſt en uſage de revêtir du côté d'amont avec un vannage, ou ſeulement avec des claies. Si le courant étoit plus rapide, on pourroit appuyer ce premier rang de pilots par un ſecond; s'il l'étoit moins, il ſuffiroit d'adoſſer le vannage ou les claies contre une ou pluſieurs rangées de gabions remplis de pierres ou de gravier, & traverſés chacun par un fort piquet qui ſert à les fixer où l'on veut.

Quant aux épis qui demandent plus de ſolidité, on peut avoir recours à ce qui a été dit des autres eſpèces de digues. En effet, il n'y a aucune différence eſſentielle entre la manière dont on doit établir les épis en faſcines, & celle dont nous avons vu qu'on établiſſoit les revêtemens de faſcinages qui ſe font le long des berges. Les épis conſtruits par encaiſſement ont auſſi le plus grand rapport avec les ouvrages qu'on fonde par encaiſſement dans la mer, & enfin les battis doubles, eſpèce d'épis particulièrement en uſage dans le département des turcies & levées, ne diffèrent preſqu'en rien des jetées & battes dont il a été traité dans le troiſième chapitre.

LIV. On pourroit faire un épi très-ſolide & très-commode, en y employant des chèvres de charpente qu'on a la liberté de placer auſſi près & auſſi éloignées les unes des autres qu'on le juge convenable, pour donner à l'épi une réſiſtance proportionnée à l'effort qu'il doit ſoutenir. Ces chèvres (*Fig.* 58) ſe placent toujours de manière que leur dos AB ſoit du côté d'amont. C'eſt ſur ce dos qu'on appuie le vannage ou les claies qui doivent former le parement de l'épi : on donne à ce parement plus ou moins de talut, en alongeant ou raccourciſſant les jambes CB, DB, en enterrant plus ou moins la queue A, ou enfin en appliquant ſur le dos AB des fourrures plus épaiſſes par un bout que par l'autre. Le plus grand avantage d'un épi de cette eſpèce, c'eſt que toutes les pièces dont il eſt compoſé étant indépendantes les unes des autres, on peut lui donner telle direction & telle courbure qu'on juge à propos, & changer cette direction &

cette courbure en totalité ou en partie, toutes les fois qu'on le croit néceſſaire.

Quelque ſupériorité que l'épi qu'on vient de décrire ait preſque toujours ſur les autres, les circonſtances varient ſi prodigieuſement, qu'il n'y a aucune ſorte de conſtruction qui ne puiſſe trouver ſa place; c'eſt pour cela qu'avant de paſſer à ce qui concerne la direction qu'on doit donner aux épis de quelque genre qu'ils ſoient, nous allons examiner ce qui a rapport à la forme des épis dormans.

LV. Un épi (*Fig.* 57), qui ſeroit auſſi élevé à ſa tête B qu'à ſa racine A, intercepteroit une ſi grande quantité d'eau lors des crues, qu'il en pourroit réſulter une infinité d'accidens. Il eſt vrai que ce ſeroit un moyen pour raſer en bien moins de temps l'attériſſement G; mais comme il vaut mieux reculer de quelque temps l'effet qu'on attend d'un épi, que de s'expoſer aux ravages que peuvent faire les eaux lorſqu'elles ſont trop reſſerrées, c'eſt un très-bon uſage de tenir le deſſus d'un épi CD en talut: il travaille par ce moyen en tout temps ſans trop retrécir le lit. On comprend aſſez qu'outre la ſujétion qu'il y auroit à conſtruire un épi en pyramide triangulaire, comme EF, il ſeroit à craindre que la pointe F, & l'arrête EF ne ſe dégradaſſent trop facilement.

LVI. Les eaux étant ordinairement preſque auſſi hautes au-deſſous qu'au-deſſus d'un épi, & la preſſion y étant par conſéquent à très-peu de choſe près la même; on voit que dans le cas où le genre de conſtruction de cet épi exigeroit qu'on en calculât l'épaiſſeur, c'eſt principalement au choc qu'il faudroit avoir égard pour déterminer cette épaiſſeur qui ſe trouvera facilement dans tous les cas par les méthodes précédentes.

LVII. Comme les différens filets d'eau parallèles qui viennent frapper un épi AMB (*Fig.* 59), adjacent à la rive AO, n'ont pas la même vîteſſe dans toute la largeur AF qui répond à cet épi, & que ceux qui ſont les plus éloignés de AO peuvent avoir la plus grande vîteſſe, c'eſt un problême utile de *déterminer la nature de la courbe qu'il faut donner au plan d'un épi, pour que tous les élémens de cette courbe ſouffrent des chocs égaux.*

Soient donc AMB la courbe demandée, AP l'axe des abſciſſes; PM, *pm* deux ordonnées infiniment voiſines.

Suppofons
- AP. . . . . $= x$
- PM. . . . . $= y$
- MR . . . . $= dx$
- mR. . . . . $= dy$
- Mm. . . . . $= ds$
- La vîteffe du filet KM qui vient frapper le point M. . . . . $=$ Y

(Y eft une fonction de y).

L'impulfion perpendiculaire contre l'élément Mm, eft proportionnelle à $Mm \times Y^2 \times \frac{\overline{mR}^2}{\overline{Mm}^2} = \frac{Y^2 dy^2}{ds}$: or puifque tous les élémens de la courbe doivent, à égalité de longueur, fouffrir des chocs égaux, il s'enfuit qu'on aura $\frac{Y^2 dy}{ds} = Ads$, A étant une conftante. Cette équation donne $Y^2 dy^2 = Adx^2 + Ady^2$, ou bien $dx\sqrt{A} = dy\sqrt{Y^2 - A}$; donc $x\sqrt{A} + B = \int dy\sqrt{Y^2 - A}$, B étant une feconde conftante. Telle eft en général l'équation de la courbe AMB; les deux conftantes A & B, doivent être déterminées par les deux conditions qu'elle paffe par les deux points donnés A & B, c'eft-à-dire de manière qu'on ait, 1°. $y = o$, lorfque $x = o$; 2°. $y =$ BO, lorfque $x =$ AO.

Il eft clair que, lorfqu'on connoîtra par des expériences immédiates dans chaque cas particulier la loi de la fonction Y, c'eft-à-dire, la loi fuivant laquelle varient les vîteffes des différens filets qui viennent frapper AMB, rien ne fera fi facile que de conftruire cette courbe, foit algébriquement, foit par les quadratures. Il n'eft pas moins évident qu'on pourra toujours la mettre en œuvre, quelle que puiffe être la direction de l'épi, puifqu'on eft maître de la faire paffer par tel point B que l'on veut. Elle eft principalement avantageufe lorfqu'elle eft frappée immédiatement par le courant; c'eft ce qui arrive lorfque l'angle HAM eft fort obtus. Mais dans les cas où il fe forme au-devant de l'épi un amas d'eaux dormantes, elle eft affez indifférente, du moins lorfque l'épi eft une fois conftruit.

LVIII. Il nous reste maintenant à examiner ce qui concerne la direction des épis, laquelle doit varier d'une infinité de manières, relativement à la position des affouillemens qu'on veut combler, & à celle des attérissemens qu'on se propose de raser.

Les différens degrés de vîtesse que les eaux d'une rivière acquièrent ou perdent à mesure qu'elles augmentent ou qu'elles diminuent ; les modifications que reçoit encore cette vîtesse & même la direction du courant, en frappant, non-seulement contre les épis, mais encore contre le prisme d'eaux dormantes qui se forme ordinairement au-devant d'un épi rectangulaire, ou contre la pyramide, aussi d'eaux dormantes, qui se forme au même endroit lorsque le dessus de l'épi est en pente, & une infinité d'autres incidens qui se succèdent d'un instant à l'autre, sont autant de causes qui rendroient encore plus inutiles que difficiles, les calculs qu'on pourroit faire à ce sujet. C'est pour cela que nous nous en tiendrons ici à quelques principes généraux confirmés par l'expérience, qu'il faudra employer & modifier selon les différentes circonstances où l'on pourra se trouver.

1°. L'effet d'un épi dépend principalement de la vîtesse du courant & de l'ouverture du passage qui reste entre la tête de cet épi & la berge opposée, de sorte que l'angle que l'épi forme avec la berge dans laquelle il s'enracine, est dans beaucoup d'occasions bien moins essentiel qu'on ne le croit communément. C'est ce que nous allons d'abord faire voir pour le cas où le but d'un épi seroit de combler un affouillement par le moyen des dépôts que fait la masse d'eaux dormantes qu'il occasionne.

Soit AB (*Fig. 60*) un épi placé perpendiculairement sur la berge CD : la masse d'eaux dormantes CBDA qui en résulte, restera à peu de chose près la même, quoiqu'on change la direction de cet épi, pourvu que sa tête reste toujours au point B, & que son corps ne sorte point de l'espace CBDA. Il arrivera seulement que la masse d'eaux dormantes diminuera du côté où on aura transporté l'enracinement A, & augmentera de l'autre ; de sorte que cette masse entière sera à l'amont de l'épi, s'il est placé suivant la direction BD, & qu'elle se trouvera au contraire à l'aval du même épi, si on le place suivant la direction CB. Mais si l'on donnoit au même épi une direction GB, en dehors de la masse d'eaux dormantes CBDA, cette masse augmenteroit du côté de l'épi de tout le triangle CGB, & dimi-

nueroit vraisemblablement de quelque chose le long de la ligne BD, parce que le courant y seroit porté un peu plus directement. Il ne paroît pas qu'en donnant à l'épi la direction BH, cela puisse produire dans les environs de BC le même effet que l'épi placé en GB produit aux environs de BD.

Quant aux cas où l'épi auroit pour objet de détruire un attérissement placé quelque part entre F & L, il paroît qu'il seroit encore assez indifférent que cet épi fût placé en CB, en AB, ou en DB; car le parement CB de la masse d'eaux dormantes, occasionnée par l'épi AB, ou par l'épi DB, dirigera le courant vers la berge FL, à-peu-près de la même manière que le feroit l'épi lui-même, s'il étoit placé en CB.

2°. Lorsque la masse d'eaux dormantes, occasionnée par un épi EG (*Fig.* 61), peut couvrir en entier l'affouillement qu'on se propose de combler, & lorsque la rivière n'est pas d'ailleurs trop profonde vers le milieu de cet affouillement, l'épi EG est préférable aux deux HI & LM, tant parce que leur construction coûteroit vraisemblablement davantage, que parce qu'il résulteroit de ces deux épis des attérissemens O, N, P, Q, en dehors de l'affouillement à combler. Si l'épi EG ne pouvoit pas produire une masse d'eaux dormantes, aussi étendue que cet affouillement HELG, il faudroit, au lieu de cet épi EG, faire les deux petits *hi*, *lm*. C'est donc dans tous les cas une erreur que de proposer pour remplir un affouillement deux épis placés en dehors, l'un à l'amont, l'autre à l'aval de cet affouillement.

3°. Quelle que soit la direction d'un épi tel que AB (*Fig.* 62), il ne peut guère servir qu'à enlever un attérissement en angle saillant D. Dans le cas où on auroit un attérissement en longueur HI, un épi EL qui réduiroit la rivière à un canal étroit le long de cet attérissement, seroit le meilleur qu'on pût employer pour le détruire. De petits éperons G, placés le long de son parement, accéléreroient beaucoup l'opération en rejetant l'eau par cascades contre l'attérissement. Sans l'avantage qu'on retire de ces petits éperons, on pourroit se contenter de deux épis AB, CD, pourvu qu'ils ne fussent pas absolument trop éloignés l'un de l'autre, car dans ce cas le parement BD de la masse d'eaux dormantes, comprise entre ces deux épis, doit produire, à peu de chose près, le même effet qu'un épi placé suivant cette ligne BD.

Il faut avoir soin de couper en divers sens par de petites tran-

chées les attériſſemens qu'on veut enlever. On a marqué ces tranchées ſur les *Figures* 62, 63, 64 & 65. Il eſt auſſi très-utile de labourer l'attériſſement toutes les fois que les eaux ſont aſſez baſſes pour le permettre.

Les *Figures* 64 & 65 repréſentent pluſieurs diſpoſitions d'épis qui ont chacune leur avantage; car il y a tant de variétés dans la vîteſſe des fleuves, & ſur-tout dans la conſiſtance de leurs berges, que ce qu'on peut faire de mieux ſur l'un ne convient ſouvent point du tout ſur un autre. C'eſt pour cela que la conduite de ces ſortes d'ouvrages demande, dans ceux qui en ſont chargés, non-ſeulement une expérience conſommée en ce genre, mais même une connoiſſance particulière de la rivière ſur laquelle on veut travailler.

Différentes manières de barrer une rivière.

LIX. Comme pluſieurs Auteurs rangent dans la claſſe des épis les digues deſtinées à barrer entièrement un bras de rivière, nous placerons ici ce que nous avons à dire à ce ſujet.

La première choſe qu'il y ait à faire lorſqu'on veut barrer entièrement un bras de rivière, eſt de curer & d'approfondir le lit auquel on veut la reſtreindre. Une autre précaution auſſi eſſentielle & preſque auſſi négligée que la précédente, c'eſt de donner à la digue une épaiſſeur proportionnée à l'augmentation de hauteur d'eau que le barrage occaſionnera néceſſairement. Un épi, tel que GH (*Fig.* 66), conſtruit quelque temps avant que d'entreprendre ce barrage, prépare inſenſiblement l'opération, en approfondiſſant le lit HIL, & en faiſant rehauſſer le fond du bras CDEF qu'on veut barrer.

Quant à l'endroit où l'on doit placer la digue & à la direction qu'on veut lui donner, on peut conſulter ce que nous avons dit à ce ſujet (art. XLIV).

Les choſes ainſi préparées, il faut battre une ou pluſieurs files de pilots contre leſquels on appuyera la digue. Nous diſons que la digue doit être appuyée contre les pilots, car une digue enfermée entre deux rangs de pilots, qu'on remplit ſucceſſivement de terre, ne réuſſit preſque jamais. L'eau reſſerrée dans la dernière partie qui reſte à remplir, creuſe ſi profondément en peu de temps, que les parties joignantes qu'on regardoit comme perfectionnées, ſont ſouvent déracinées & emportées, avant

que la digue ait pu être achevée. Si l'on étoit abſolument obligé de remplir la digue ſucceſſivement & par parties, il faudroit toujours commencer par l'endroit le plus profond, & finir par l'endroit où il y auroit le moins d'eau, & où elle ſeroit le moins rapide.

Pour l'ordinaire on amène contre les pilots une givée de faſcinages qui tient toute la largeur du lit qu'on veut barrer : on la fait échouer en détachant les tonneaux vides qui la ſoutenoient à flot, & en la chargeant très-promptement de terre, au moyen des grands amas qu'on en a dû faire le plus près qu'il a été poſſible de ſes extrémités. On doit auſſi avoir des bateaux chargés de terre & glageaux qu'il faut jeter au pied & en amont de la givée, & qu'on y affermit avec de grands rabots ſemblables à ceux qui ſervent à corroyer le mortier. Ces terres, jetées à l'amont de la givée & que l'eau force à entrer dans les vides & interſtices qui s'y peuvent trouver, ſont bien plus utiles que celles qu'on jetteroit derrière, & que l'eau qui filtre à travers la givée entraîneroit au-delà.

On pourroit, ſi l'ouvrage méritoit cette dépenſe, faire ſur les pilots deſtinés à ſoutenir la digue un échafaud compoſé de baſcules qu'on chargeroit de terre, & qu'on renverſeroit toutes enſemble ſur la givée au moment où on détacheroit les tonneaux pour lui faire prendre fond.

Il y auroit une autre manière de barrer un bras de rivière; ce ſeroit de ſubſtituer des chèvres pareilles à celles de la *Figure* 58 aux pilots deſtinés à ſoutenir la digue, & de conſtruire ſur ces chèvres mêmes une grande givée (*Fig.* 67) dont le pied AB ſeroit compoſé de menues branches bien feuillées. Il n'y a aucun doute qu'en coupant en même temps toutes les harres qui la retiendroient, & en la faiſant gliſſer promptement d'une ſeule pièce, de manière que toutes les menues branches ſe refoulaſſent ſur la ligne *ab* du pied des chèvres, cette givée auroit aſſez de force pour réſiſter à l'eau juſqu'à ce qu'on eût eu le temps de la charger entièrement de terre.

Il faut principalement avoir attention de regarder à l'aval de la digue les endroits par où l'eau commence à s'ouvrir un paſſage, afin d'y faire promptement porter remède du côté d'amont. Une autre attention non moins eſſentielle que la précédente, c'eſt de veiller aux deux extrémités de la digue par où l'eau s'échappe très-ſouvent. On prévient cet accident en appuyant chacune

de ses extrémités par un bout de digue A (*Fig.* 68), bien enraciné dans les terres. Il faut aussi placer à l'amont de la givée, sitôt qu'elle est échouée, deux gros fagots de glageaux B, que l'on fixe solidement dans l'angle au moyen du fort piquet qui les traverse.

Lorsque le fond de la rivière est trop mouvant, il faut avec des dragues à la main ou à chapelet, draguer à 2 ou 3 pieds de profondeur tout le terrein sur lequel on doit asseoir la digue, & même 6 pieds au-devant. On substitue ensuite de la bonne terre glaise aux sables mouvans qu'on a enlevés; mais pour que cette opération réussisse, il faut draguer par parties & placer au derrière de l'excavation de petits vannages qui empêchent le courant d'enlever la glaise à mesure qu'on la jette.

CHAPITRE VI.

Des Bâtardeaux.

LX. QUOIQUE plusieurs des digues, dont il a été parlé, prennent quelquefois le nom de bâtardeaux, & qu'on le donne même communément aux digues de maçonnerie qui se construisent dans les fossés des places fortifiées, on entend plus généralement par *bâtardeaux* ces espèces de digues provisoires dont l'objet est d'enfermer la partie du fond d'une rivière, d'un lac ou de la mer, qu'on veut mettre & tenir à sec pendant un certain temps, afin d'y construire une vraie digue, un pont, ou quelqu'autre ouvrage. C'est de ces bâtardeaux dont il sera ici question.

LXI. Le corps d'un bâtardeau est toujours de terre, & plus communément de celle appelée *glaise* qui est la meilleure, tant par rapport à sa ténacité, que parce qu'elle pèse plus que les autres & présente par conséquent plus de résistance à volume égal. Quand on est absolument obligé de se servir de terre légère, il faut faire les bâtardeaux un peu à l'avance, afin de donner à ces terres le temps de se rasseoir.

Lorsqu'un bâtardeau a peu de hauteur d'eau à soutenir, comme

1 ou 2 pieds, & que d'ailleurs cette eau eſt dormante, on abandonne quelquefois la terre à elle-même : tel eſt le bâtardeau A (*Fig.* 69). Plus ſouvent cependant on ſoutient le bâtardeau du côté de l'ouvrage par de petits pilots, derrière leſquels on met quelques planches, ou des claies de ſaules, comme B (même *Figure*).

Communément les bâtardeaux ſont compoſés de deux rangs de pieux A & B (*Fig.* 70), reliés chacun avec ſon oppoſé par une barre CE, en dedans, & contre leſquels on poſe des claies CD, EF, après quoi tout l'eſpace compris entre les claies eſt rempli de bonne terre graſſe, bien corroyée avec les pieds, ou à la dame & au rabot, tant que la profondeur de l'eau eſt trop grande pour que les hommes puiſſent s'y mettre.

Il faut ſur-tout avoir attention, avant que de mettre la terre dans le bâtardeau, de bien draguer le fond DF, c'eſt-à-dire, d'enlever toute la vaſe, le ſable fin & les groſſes pierres qui s'y trouvent.

Quelquefois on apporte plus de précautions à la conſtruction des bâtardeaux. Les pieux équarris A (*Fig.* 71), ſont couronnés par un chapeau B, & entretenus par une lierne E placée à la hauteur des baſſes eaux, entaillée à la rencontre des pieux & bien boulonnée avec ces pieux. On met en dedans & contre ces mêmes pieux un vannage de planches de deux pouces d'épaiſſeur enfoncées de 6 à 8 pouces en terre, & contretenues par des traverſes de pareille épaiſſeur de deux pouces. Avant que de mettre, battre & marcher la glaiſe derrière les vannages, on relie les chapeaux par des entre-toiſes CD chevillées ſur ces chapeaux, & entaillées à leur rencontre.

Enfin lorſqu'on veut encore plus de ſolidité, au lieu d'un ſimple vannage de deux pouces appuyé en dedans des pieux, on bat entre ces pieux, & ſur leur même ligne, des palplanches de quatre pouces d'épaiſſeur, qu'on fixe & retient entre deux cours de liernes, comme on le voit *Fig.* 72.

Les bâtardeaux les plus difficiles à conſtruire ſont ceux qui doivent être établis ſur le roc vif, dans lequel les pieux ne peuvent par conſéquent pas prendre fiche. La *Fig.* 73 repréſente l'aſſemblage d'un bâtardeau qui ſeroit très-utile en pareille circonſtance. Le pieu AB, aſſemblé à charnière par ſon pied dans la queue B de la chèvre BCD, ſe met facilement à-plomb : on le maintient dans cette poſition, en coupant de longueur la contre-fiche

A C qu'on assemble sur le tas. Les pieux une fois ainsi fixés à-plomb, le reste ne souffre plus aucune difficulté.

LXII. L'épaisseur des bâtardeaux doit se calculer comme celle des autres digues ; nous observerons seulement que lorsqu'on les construit suivant ce qui est indiqué (*Fig.* 71), & sur-tout lorsqu'ils sont garnis de palplanches de 4 pouces, la résistance des bois est alors un objet si considérable qu'on peut se contenter de mettre la terre en équilibre avec la pression & le choc de l'eau.

LXIII. La hauteur des bâtardeaux se règle communément d'après les crues ordinaires, de manière qu'elles ne puissent pas porter l'eau dans l'enceinte. On sent combien la dépense de ces bâtardeaux seroit considérable sur certaines rivières, si on vouloit les tenir au-dessus des plus grandes crues. Cela dépend au reste des circonstances locales, de la nature de l'ouvrage qu'on construit, & du plus ou moins d'inconvénient qu'il y auroit à ce qu'il fût submergé.

Lorsque les bâtardeaux ont beaucoup de hauteur, on est souvent obligé de les soutenir par des arc-boutans. Il auroit mieux valu les construire par gradins : ces sortes de bâtardeaux facilitent la manœuvre, & l'on peut y employer beaucoup de vieux matériaux qui ne pourroient pas servir, si on faisoit le bâtardeau aussi large par en haut que par en bas.

LXIV. La forme d'un bâtardeau & l'étendue qu'il doit occuper, dépendent principalement de la forme & de la grandeur de l'ouvrage qu'on veut y enfermer, du nombre des chapelets ou autres machines à épuiser qu'il faut y établir, & des manœuvres plus ou moins compliquées & embarrassantes qu'on aura à y faire. On doit d'ailleurs placer, autant qu'il est possible, les flancs d'un bâtardeau parallèlement au fil de l'eau, & il faut toujours ménager au courant une entrée & une sortie facile dans le lit qui lui reste, en formant des pans coupés & des avant & arrière-bées qu'on peut voir *Fig.* 74.

Cette *Figure* comprend trois bâtardeaux ; l'un AB est destiné à favoriser l'établissement de la fondation d'un mur de quai ; le second DEFG enferme une culée H, & une pile I ; quelquefois on fait entre la pile & la culée un petit contre-bâtar-

deau K L. Enfin le troisième bâtardeau M N ne renferme qu'une pile.

Lorsque le courant est très-rapide, on le rompt quelquefois par un vannage, tel que O P ou C F, placé en avant & à quelque distance du bâtardeau, ce qui le soulage beaucoup.

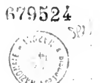
On doit regarder avant que de déterminer l'emplacement d'un bâtardeau, s'il n'y a pas au-dessous quelque attérissement qu'il convienne de raser, & dans ce cas on établit les branches de ce bâtardeau de manière qu'il puisse en même temps servir d'épi. C'est cette attention à profiter de toutes les circonstances, qui distingue principalement l'homme intelligent du praticien borné.

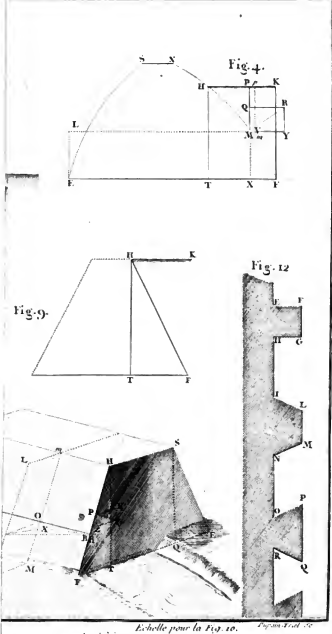
FIN.

TABLE
DES CHAPITRES.

Avertissement du Citoyen Bossut, 5
Exposition du sujet, 9
CHAPITRE I. *Des Chaussées d'Etang*, 10
Section I. *Calcul des dimensions de la digue suivant une première hypothèse*, 15
Sect. II. *Calcul des mêmes dimensions suivant une seconde hypothèse*, 19
CHAP. II. *Des ouvrages qui se construisent le long des rivières pour en garantir les berges & retenir les eaux dans leur lit*, 24
Sect. I. *Des Murs de Quai*, 25
Sect. II. *Des Turcies & Levées*, 33
Sect. III. *Des Revêtemens en fascinage*, 34
CHAP. III. *Des Jetées*, 36
Détermination de la figure la plus avantageuse de la tête d'une jetée, 41
CHAP. IV. *Des Reversoirs*, 46
CHAP. V. *Des Epis*, 55
Différentes manières de barrer une rivière, 62
CHAP. VI. *Des Bâtardeaux*, 64

Fin de la Table.





Echelle pour la Fig. 10.

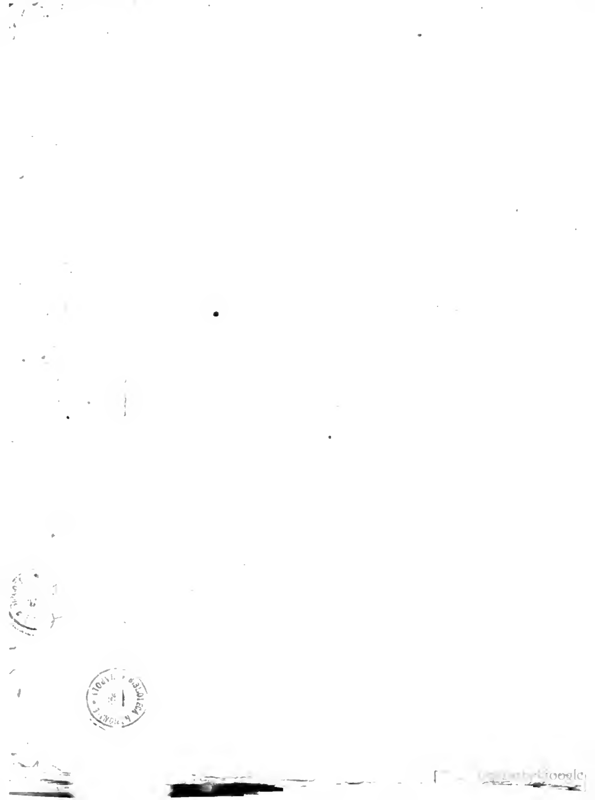


Fig. 18.

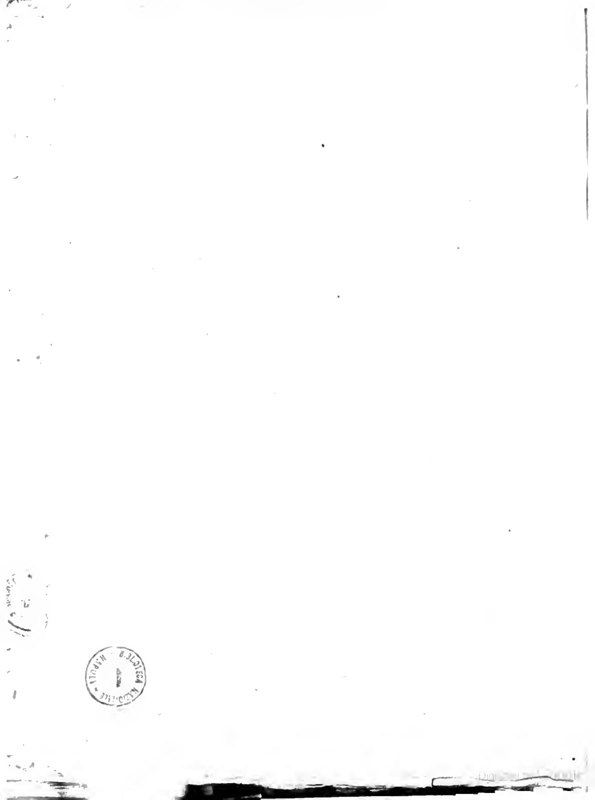
Fig. 19.

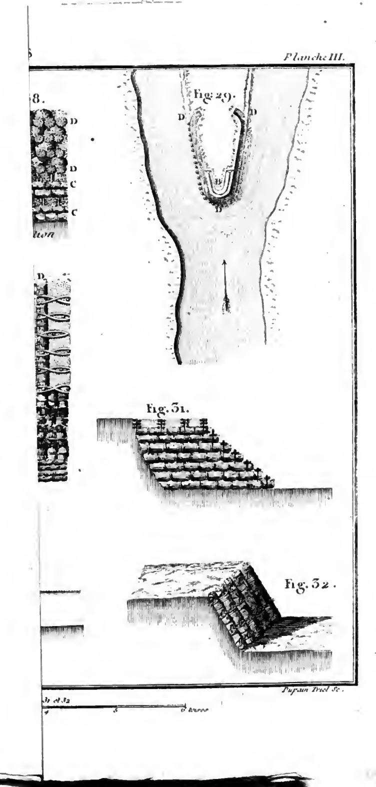
Fig. 20.

B

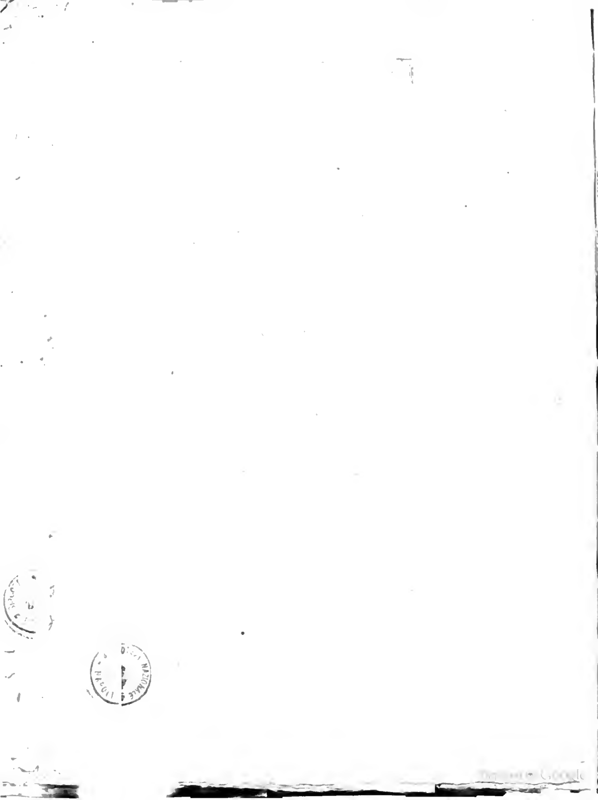
Fig. 23.

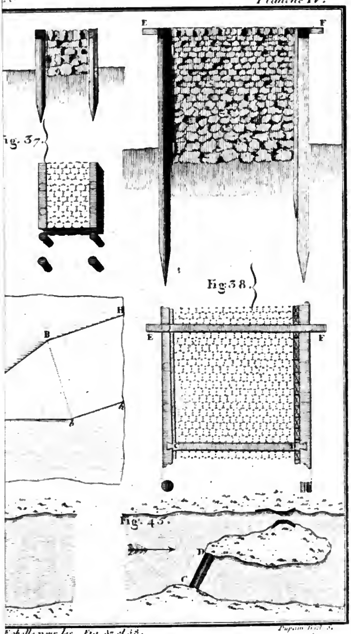
Échelle pour les Fig. 21 et 22.





8.
D
D
C
C
D
Fig: 29.
D
D
B
D
Fig. 31.
Fig. 32.
Dupuis Triel Sc.

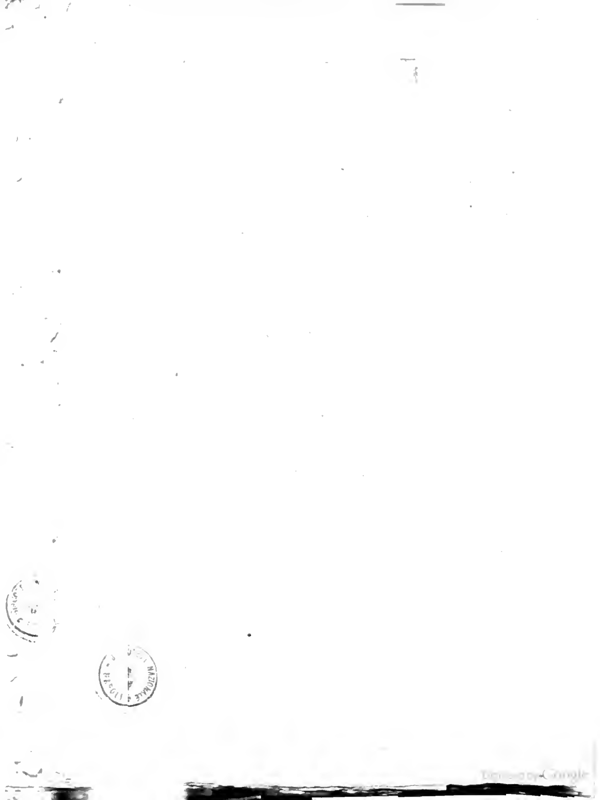

NAZIONALE

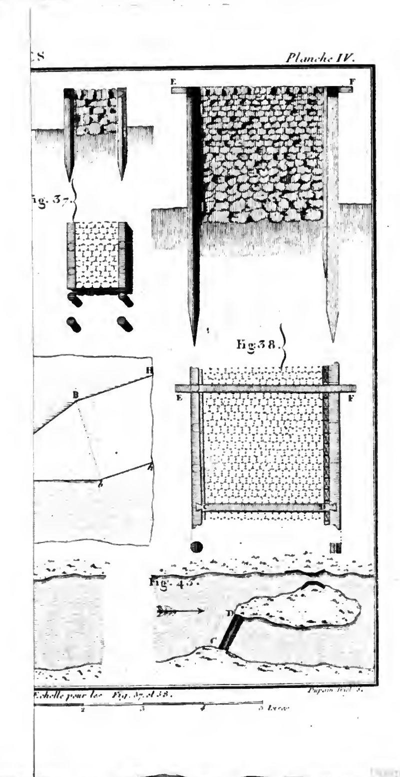


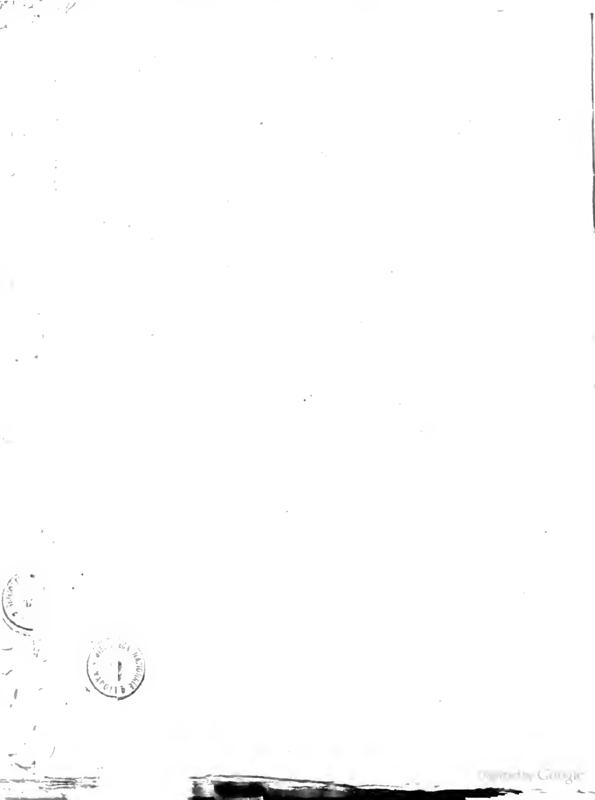
Echelle pour les Fig. 37 et 38.

Pupain Sculp.

2 3 4 5 toises




E
F
Fig. 37.
Fig. 38.
H
B
h
b
E
F
Fig. 45.
D
C
Echelle pour les Fig. 37 et 38.
2
3
4
5 Lieue



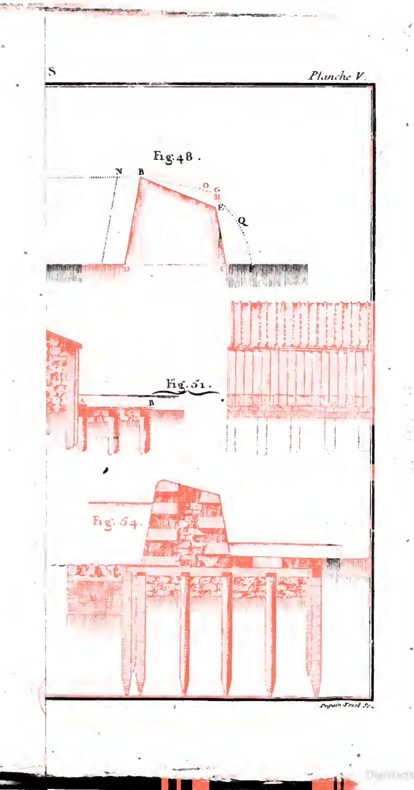

Fig. 48.
N
B
O
G
H
E
Q
D
C
Fig. 51.
A
B
Fig. 54.
Poyain Trait Sc.



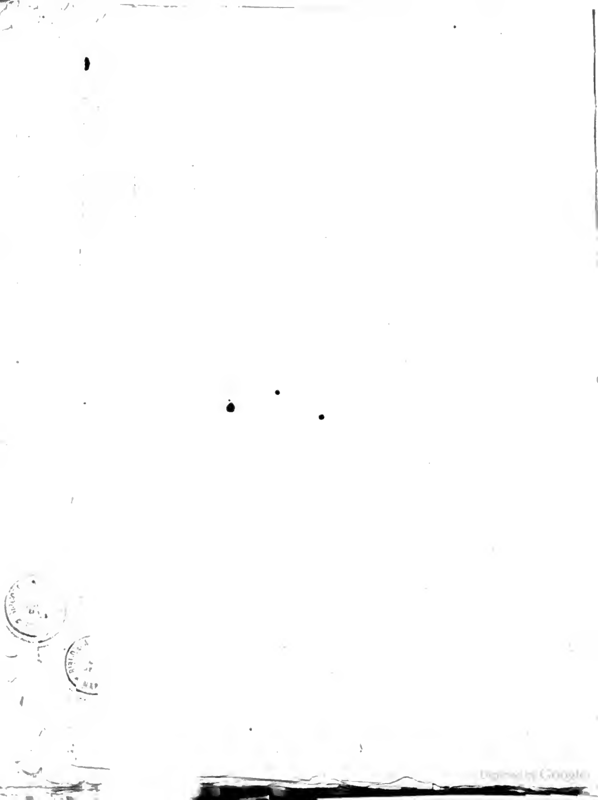
Fig. 61.

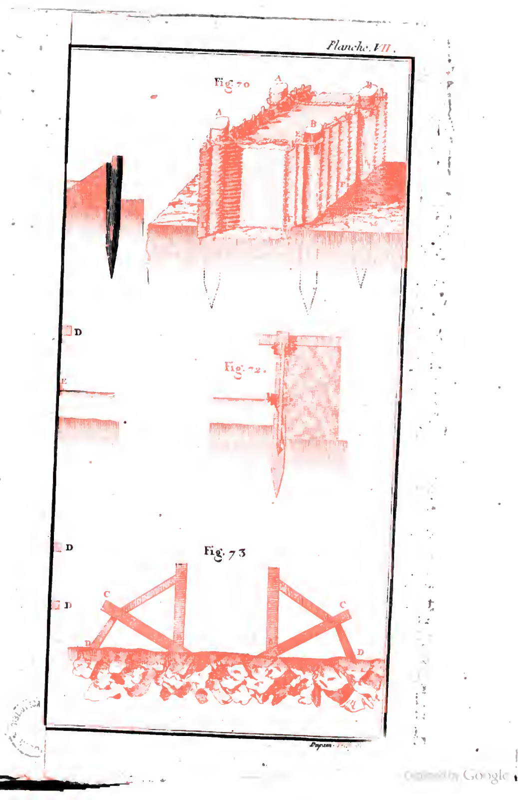
Fig. 64.

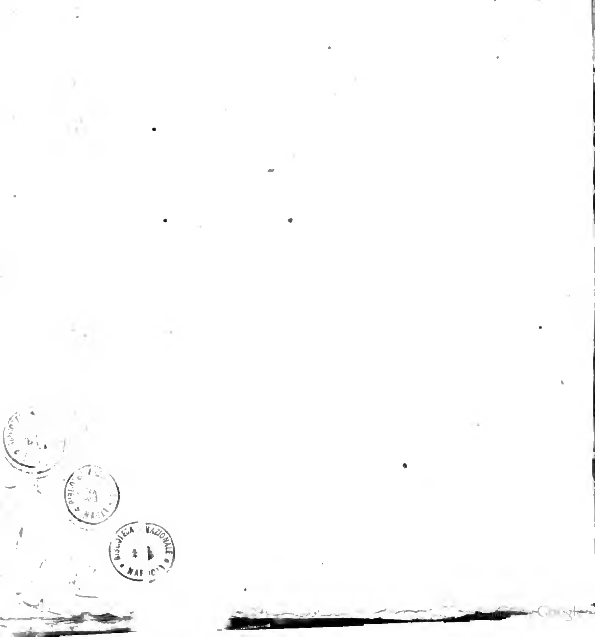
Fig. 68.

Fig. 67.

Dupain




Fig. 70
A
A
B
B
E
F
D
E
Fig. 72.
Fig. 73
D
C
D
C
D
D
Poyon


NAZIONALE


REALE OFFICIO TOPOGRAFICO
III Armadio.
II Scansia Lett. B
N.° 1.


BIBLIOTECA